

Grau en Gestió Aeronàutica

# **MÈTODES PER A L'EVACUCACIÓ EFICIENT D'AERONAUS**

**I**

## **SIMULACIÓ EN UN AIRBUS 380**

Memòria del Treball Fi de Grau

**Memòria del Treball Fi de Grau en  
Gestió Aeronàutica**

realitzat per

**Pau Estany de Millan**

i dirigit per

**Dr. Angel A. Juan Pérez**

Sabadell, 7 de Juliol de 2014



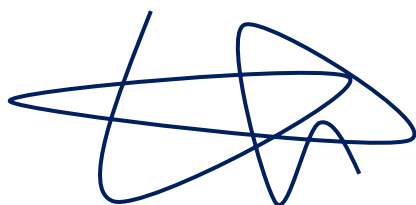
El sotasignat, **Dr. Angel A. Juan Pérez**,  
professor de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

**CERTIFICA:**

Que el treball al que correspon la presenta memòria ha estat realitzat sota la seva direcció per

**Pau Estany de Millan**

I per a que consti firma la present.



Signat: Dr, Angel A. Juan Pérez

Sabadell, Juliol de 2014

## Agraïments

M'agradaria que aquestes línies servissin per expressar el meu profund i sincer agraïment a totes aquelles persones que amb la seva ajuda han col·laborat en la realització del present treball, en especial al Dr Angel A. Juan Pérez, tutor d'aquest projecte, per l'orientació, el seguiment i la supervisió continua del mateix, però sobretot per la motivació i el suport rebut al llarg d'aquests processos.

També vull fer un agraïment molt especial a la família, a la novia i als amics per la seva comprensió, paciència i tot l'ànim rebut durant aquests dies.

A tots ells, moltes gràcies.

## Índex

	Pàg.
0. Resum .....	15

### Secció 1: Introducció

1. Introducció i motivació .....	21
2. Objectius .....	23
2.1 Objectius globals .....	23
2.2 Objectius parcials .....	23
3. Metodologia .....	25
4. Estudi de viabilitat del projecte .....	26
5. Planificació temporal de treball .....	27

### Secció 2: Conceptes bàsics i estat actual del tema

6. Introducció .....	31
7. Normativa d'evacuació en aeronaus .....	32
8. Procediments d'emergència .....	33
9. Passatgers amb mobilitat reduïda .....	38
10. Passatgers especials .....	40
11. Revisió de la literatura científica .....	42

### Secció 3: L'evacuació en un avió

12. L'evacuació en una aeronau .....	51
12.1 Quan pot ser iniciada una evacuació per part de la tripulació de cabina? ....	52

12.2	Directrius d'una evacuació .....	53
12.3	Factors que influeixen en l'èxit d'una evacuació d'emergència .....	53
13.	Com utilitzar els tobogans inflables en una aeronau .....	56

#### Secció 4: Estudi de l'aeronau, model Airbus 380

14.	L'AirbusA-380 .....	61
14.1	La cabina .....	61
14.2	Característiques tècniques de l'aeronau .....	63
14.3	Ubicació de les entrades i sortides .....	64
14.4	Les sortides d'emergència .....	65
14.5	Els Tobogans inflables d'emergència .....	66
14.6	Les portes d'emergència .....	68

#### Secció 5: Creació del model en Simio

15.	Creació del model de simulació A-380 .....	71
15.1	Introducció .....	71
15.2	El model exemple de la simulació .....	72
15.3	El model de simulació .....	72
15.4	Les entitats del model .....	76
15.5	Estimació dels temps .....	77
15.6	Mides i distàncies del model .....	79
15.7	Característiques i processos del model .....	83
15.7.1	El <i>Source</i> .....	83
15.7.2	L' <i>Entity / ModelEntity</i> .....	84
15.7.3	Els <i>Processos</i> .....	85
15.7.4	El <i>TransferNode</i> .....	90
15.7.5	La <i>Taula</i> .....	91
15.8	Model en 3D .....	92

## Secció 6: Experiments i anàlisi del resultat

<b>16.</b>	<b>Anàlisi dels resultats .....</b>	<b>97</b>
<b>16.1</b>	<b>Introducció .....</b>	<b>97</b>
<b>16.2</b>	<b>Disseny dels escenaris .....</b>	<b>98</b>
<b>16.2.1</b>	<b>Temps mig de sortida d'un passatger .....</b>	<b>99</b>
<b>16.2.2</b>	<b>Temps d'evacuació en funció del factor d'ocupació .....</b>	<b>104</b>
<b>16.2.3</b>	<b>Temps d'evacuació amb la meitat de sortides disponibles .....</b>	<b>107</b>
<b>16.2.4</b>	<b>Resultats obtinguts a partir d'una distribució Random.Triangular ..</b>	<b>110</b>
<b>16.3</b>	<b>Discussió dels resultats .....</b>	<b>111</b>

## Secció 7: Conclusions i treball futur

<b>17.</b>	<b>Conclusions .....</b>	<b>119</b>
<b>18.</b>	<b>Línies de treball futur .....</b>	<b>121</b>

## Secció 8: Referències i enllaços

<b>19.</b>	<b>Referències .....</b>	<b>125</b>
<b>20.</b>	<b>Enllaços .....</b>	<b>126</b>

## Secció 9: Annex

<b>21.</b>	<b>Temps d'evacuació en funció del factor d'ocupació (Random.Triangular) .....</b>	<b>131</b>
<b>22.</b>	<b>Temps d'evacuació amb la meitat de les sortides disponibles (Random.Triangular) .....</b>	<b>134</b>





## Índex de taules, imatges i figures

### ➤ FIGURES:

• Figura 4.1: Taula de planificació temporal del projecte .....	27
• Figura 4.2: Planificació temporal del projecte (Diagrama de Gantt) .....	28
• Figura 16.1: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 100% .....	104
• Figura 16.2: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 85% .....	105
• Figura 16.3: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 70% .....	106
• Figura 16.4: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 100% i 50% de sortides disponibles .....	107
• Figura 16.5: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 85% i 50% de sortides disponibles .....	108
• Figura 16.6: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 70% i 50% de sortides disponibles .....	109
• Figura 16.7: Representació gràfica comparativa dels temps d'evacuació .....	113
• Figura 16.8: Representació gràfica comparativa dels temps d'evacuació del model A380 amb un 50% de les sortides disponibles .....	111
• Figura 16.9: Gràfic comparatiu dels temps totals d'evacuació de les dos Distribucions (Uniform i Triangular) .....	115
• Figura 16.10: Gràfic comparatiu dels temps totals d'evacuació en les dos Distribucions (Uniform i Triangular) amb el 50% de les sortides disponibles .....	116

### ➤ IMATGES:

• Imatge 8.1: Butlletí informatiu dels protocols d'evacuació en un A-380 .....	34
• Imatge 12.1: Protocols d'evacuació en un A-380 .....	51
• Imatge 12.2: Posició d'impacte .....	54
• Imatge 12.3: Salt pel tobogan d'emergència .....	54
• Imatge 13.1: Protocol dels tobogans d'emergència .....	56
• Imatge 13.2: Tobogans com a bot salvavides .....	57

• Imatge 14.1: Airbus A-380 .....	61
• Imatge 14.2: Coberta superior de l'avió A-380 .....	62
• Imatge 14.3: Coberta principal de l'avió A-380 .....	62
• Imatge 14.4: Imatges de l'aeronau A-380 .....	64
• Imatge 14.5: Ubicació de les sortides d'emergència en un A-380 .....	64
• Imatge 14.6: Ubicació dels tobogans d'emergència en un A-380 .....	65
• Imatge 14.7: Direcció dels tobogans d'emergència en un A-380 .....	67
• Imatge 14.8: Sortida d'emergència en un A-380 .....	68
• Imatge 15.1: Distribució de l'aeronau A-380 (AirFrance) .....	73
• Imatge 15.2: Distribució dels seients de l'Airbus 380 .....	74
• Imatge 15.3: Distribució del model A-380 ..	74
• Imatge 15.4: Model de simulació A-380 .....	75
• Imatge 15.5: Mides dels seients i passadissos de l'A380 .....	79
• Imatge 15.6: Distàncies de les portes amb el morro davanter de l'A380 .....	80
• Imatge 15.7: Mides dels <i>Path</i> del model .....	81
• Imatge 15.8: <i>Path</i> del model A380 .....	82
• Imatge 15.9: <i>TimePath</i> dels tobogans d'emergència del model A380 .....	82
• Imatge 15.10: Característiques del <i>Source</i> .....	83
• Imatge 15.11: Característiques del <i>ModelEntity</i> .....	84
• Imatge 15.12: Estats definits en el <i>ModelEntity</i> .....	84
• Imatge 15.13: Processos del model A-380 .....	85
• Imatge 15.14: Procés " <i>Assignació_Seients</i> " .....	86
• Imatge 15.15: Row del procés " <i>Assignació_Seients</i> " ( <i>Assign 1</i> ) .....	86
• Imatge 15.16: <i>Assign 3</i> .....	87
• Imatge 15.17: Row del procés " <i>Assignació_Seients</i> " ( <i>Assign 1</i> ) .....	87
• Imatge 15.18: <i>Assign 2</i> .....	87
• Imatge 15.19: Procés " <i>Ubicació_Passatgers</i> " .....	88
• Imatge 15.20: Procés " <i>Lliscar_Tobogan</i> " .....	88
• Imatge 15.21: Procés " <i>Saltar_Tobogan</i> " .....	88
• Imatge 15.22: Procés " <i>Descordar_Cinturo</i> " .....	89
• Imatge 15.23: Procés " <i>Aixecarse</i> " .....	89
• Imatge 15.24: Procés " <i>Sortida_Passatger</i> " .....	89
• Imatge 15.25: Procés " <i>Evacuacio_Passatgers</i> " .....	89

• Imatge 15.26: <i>TransferNode</i> del seient .....	90
• Imatge 15.27: Taula del model A380 .....	91
• Imatge 15.28: Imatge gràfica dels passatgers evacuant el model A380 .....	92
• Imatge 15.29: Imatge en 3D de la coberta principal del model A380 .....	93
• Imatge 15.30: Imatge en 3D de tot el model A380 .....	93
• Imatge 16.1: Escenari del <i>Temps_mig</i> , <i>Temps_Màxim</i> i <i>Temps_Mínim</i> .....	99
• Imatge 16.2: Resposta dels experiments <i>Temps_Mínim</i> .....	99
• Imatge 16.3: Resultats del model 100% d'ocupació ( <i>Temps_Mig</i> , <i>Temps_Màxim</i> , <i>Temps_Mímnim</i> ) .....	100
• Imatge 16.4: Resultats del model 85% d'ocupació ( <i>Temps_Mig</i> , <i>Temps_Màxim</i> , <i>Temps_Mímnim</i> ) .....	100
• Imatge 16.5: Resultats del model 70% d'ocupació ( <i>Temps_Mig</i> , <i>Temps_Màxim</i> , <i>Temps_Mímnim</i> ) .....	101
• Imatge 16.6: Resultats del 100% d'ocupació i 50% de sortides .....	102
• Imatge 16.7: Resultats del 85% d'ocupació i 50% de sortides .....	103
• Imatge 16.8: Resultats del 70% d'ocupació i 50% de sortides .....	103

## ➤ TAULES:

• Taula 10.1: Nombre d'acompanyants per a cada grup de menors .....	41
• Taula 14.1: Dimensions de l'aeronau A-380 .....	63
• Taula 14.2: Capacitat de l'aeronau A-380 .....	63
• Taula 15.1: Tipus de passatgers .....	76
• Taula 15.2: Intervals de confiança .....	77
• Taula 15.3: Distàncies del model A380 .....	81
• Taula 16.1: Passatgers del model amb el 100% d'ocupació .....	98
• Taula 16.2: Passatgers del model amb el 85% d'ocupació .....	98
• Taula 16.3: Passatgers del model amb el 70% d'ocupació .....	98
• Taula 16.4: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 100% .....	104
• Taula 16.5: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 85% .....	105
• Taula 16.6: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 70% .....	106

- Taula 16.7: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 100% i 50% de sortides disponibles ..... 107
- Taula 16.8: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 85% i 50% de sortides disponibles ..... 108
- Taula 16.9: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 70% i 50% de sortides disponibles ..... 109
- Taula 16.10: Temps d'evacuació del model A380 en funció del factor ocupació ... 112
- Taula 16.11: Temps d'evacuació del model A380 amb un 50% de les sortides disponibles i en funció del factor ocupació ..... 114

## Secció 0: Resum



## 0. Resum

Les estadístiques demostren que a l'hora de parlar de seguretat en els mitjans de transport, els avions són considerats com una de les formes més segures de desplaçament dels éssers humans amb menor nombre d'accidents anualment. Però en les aeronaus comercials poden presentar-se situacions de risc, com una sortida de pista, un aterratge forçós, una amenaça terrorista o una avaria, que exigeixen una evacuació d'emergència.

Els perills que es produeixen en aquestes situacions poden ser diversos: impactes, foc, fum, gasos tòxics i explosions són alguns exemples. En les anteriors circumstàncies, el comandant de l'aeronau dóna l'ordre d'evacuació d'emergència de l'avió i a partir d'aquest moment, s'inicia el procés. L'objectiu final és posar a fora de perill tots els ocupants de l'avió i evacuar-los a l'exterior de l'aeronau. Atès que els riscos van augmentant a mesura que el temps transcorre, l'èxit de l'evacuació depèn fonamentalment que es faci en el menor temps possible.

Un minut i mig, 90 segons. Aquest és el temps de què es disposa per evacuar l'avió si cal, després d'un aterratge d'emergència. Independentment del nombre de passatgers que hi hagi. És igual si és de dia o de nit. No importa si la meitat de les sortides d'emergència estan inoperatives. L'avió ha de ser evacuat completament en menys de 90 segons.

Afortunadament, aquestes situacions són molt poc freqüents en comparació amb el gran nombre de vols que es realitzen en l'actualitat. A més, la majoria es solucionen amb èxit, fonamentalment degut a la continua aportació investigadora de la enginyeria aeronàutica a la cerca de solucions al problema de l'evacuació d'emergència, un dels múltiples desafiaments que presenta la seguretat en el transport aeri.

Per millorar les estratègies i definir uns protocols d'evacuació eficients, és necessari realitzar un estudi exhaustiu del comportament dels passatgers, analitzar els diferents escenaris que poden succeir en un accident, definir totes les característiques de cada aeronau i tenir en compte factors externs que poden afectar el temps d'evacuació. Per poder desenvolupar un estudi com aquest, avui dia s'utilitzen les eines de simulació orientat a objectes, les quals permeten crear un model molt aproximat a la realitat, i poder analitzar qualsevol escenari.

La segona part del projecte es basa en la creació d'un model, mitjançant el programa de *Simio*, a partir del qual s'estudien diferents escenaris, s'analitzen els passatgers i es comparen els resultats obtingut per extreure'n conclusions determinants en l'evacuació d'aeronaus.

## 0. Resumen

Las estadísticas demuestran que a la hora de hablar de seguridad en los medios de transporte, los aviones son considerados como una de las formas de desplazamiento de los seres humanos con menor número de accidentes anualmente. Pero en las aeronaves comerciales pueden presentarse situaciones de riesgo, como una salida de pista, un aterrizaje forzoso, una amenaza terrorista o una avería, que exigen una evacuación de emergencia. Los peligros que se producen en estas situaciones pueden ser diversos, impactos, fuego, humo, gases tóxicos y explosiones son algunos ejemplos. En las anteriores circunstancias, el comandante de la aeronave da la orden de evacuación de emergencia del avión y a partir de ese momento, se inicia el proceso. El objetivo final es poner a salvo todos los ocupantes del avión y evacuarlos al exterior de la aeronave. Dado que los riesgos van aumentando a medida que el tiempo transcurre, el éxito de la evacuación depende fundamentalmente de que se haga en el menor tiempo posible.

Un minuto y medio, 90 segundos. Este es el tiempo de que se dispone para evacuar el avión si es necesario, después de un aterrizaje de emergencia. Independientemente del número de pasajeros que haya. Es igual si es de día o de noche. No importa si la mitad de las salidas de emergencia están inoperativas. El avión debe ser evacuado completamente en menos de 90 segundos. Afortunadamente, estas situaciones son muy poco frecuentes en comparación con el gran número de vuelos que se realizan en la actualidad. Además, la mayoría se solucionan con éxito, fundamentalmente debido a la continua aportación investigadora de la ingeniería aeronáutica en la búsqueda de soluciones al problema de la evacuación de emergencia, uno de los múltiples desafíos que presenta la seguridad en el transporte aéreo.

Para mejorar las estrategias y definir unos protocolos de evacuación eficientes, es necesario realizar un estudio exhaustivo del comportamiento de los pasajeros, analizar los diferentes escenarios que pueden suceder en un accidente, definir todas las características de cada aeronave y tener en cuenta los factores externos que pueden afectar en el tiempo de evacuación. Para poder desarrollar un estudio como este, hoy en día se utilizan las herramientas de simulación orientada a objetos, que permiten crear un modelo muy aproximado a la realidad, y poder analizar cualquier escenario. La segunda parte del proyecto se basa en la creación de un modelo, mediante el programa de *Simio*, a partir del cual se estudian diferentes escenarios, se analizan los pasajeros y se comparan los resultados obtenido para extraer conclusiones determinantes en la evacuación de aeronaves.



## 0. Abstract

Statistics show that when it comes to safety in means of transport, planes as one of the safest ways to travel. But when it refers to commercial aircrafts there can be risky situations like an off-track, an emergency landing, a terrorist threat or malfunctions that would need an emergency evacuation.

The danger implied in these situations can be various. For instance: impacts, fire, smoke, toxic gases and explosions. In the circumstances listed above, the commander provides the order of emergency evacuation, and from then on, the process starts. The target here is to keep safe all the occupants with the evacuation process. But in this action, the risks increase while the time passes by, so the success of the process mainly depends on how much time it takes.

A minute and a half, 90 seconds. This is the given time to evacuate the aircraft if needed, after an emergency landing. No matter how many passengers on board, no matter during day or night, no matter if some of the emergency exits are inoperative. The aircraft must be evacuated within 90 seconds.

Fortunately, these situations are not frequent, taking into consideration the daily number of flights nowadays. In addition, the majority of them are successfully solved, mainly due to the aeronautic engineers' investigation in emergency evacuation, one of the multiple challenges of air transport.

To better define the strategies and protocols for efficient evacuation, is necessary to conduct a comprehensive study of passengers' behavior, analyse different scenarios that could happen during an accident, define all the characteristics of each aircraft and take into account external factors that may affect the evacuation time. To develop a study like this nowadays, object-oriented simulation tools are used, which allow us to create a close model to the reality, so every different scenario can be studied.

The second part of the project is based on the creation of a model, with Simio programme, which allows us to study different scenarios, passengers are analysed and results are compared to get vital conclusions in aircraft evacuating.



## Secció 1: Introducció



## 1. Introducció i motivació

En l'actualitat, cal entendre el sector aeronàutic com un mitjà de transport aeri caracteritzat per un fort creixement amb el pas del temps. S'espera un increment anual del volum de passatgers al voltant del 5% durant els propers 20 anys, tal i com indiquen les estimacions realitzades pels organismes d'ICAO i IATA. Aquest increment de passatgers significa un augment dels vols, un augment del nombre de passatgers i un increment de la capacitat de les aeronaus, és a dir, augmenten el nombre de passatgers per a cada vol.

Per poder mantenir la seguretat en el transport aeri, és necessari realitzar molts estudis detallats i amb exactitud sobre les possibles emergències que poden succeir durant el vol i quins són els protocols que s'han de seguir per minimitzar el risc d'accidents.

L'evacuació en les aeronaus és un tema molt important en la seguretat dels avions. És possible definir l'evacuació com una acció de desocupar una aeronau quan existeix una emergència i perillen les vides dels passatgers, d'aquesta manera, són traslladats a un lloc segur, evitant així qualsevol dany imminent. El fet d'evacuar un aeronau en el menor temps possible i seguint les estratègies i protocols establerts, permet salvar el major nombre de passatgers possibles.

Com s'explica en molts apartats del projecte, avui dia hi ha un gran estudi per millorar aquestes estratègies i conscienciar més als passatgers, per tal d'informar-los sobre els protocols i processos que han de seguir en cas que es trobin en una evacuació real d'emergència. Per poder millorar aquestes estratègies, és necessari utilitzar unes eines que permetin simular aquests processos, com es el cas del software simulador *Simio*.

Primerament, el projecte pretén introduir al lector en el tema de seguretat en els avions, on s'explicaran quins són els processos que es realitzen en el cas que els passatgers hagin d'evacuar l'aeronau i quins són els protocols que han de seguir. D'aquesta manera, el lector entendrà millor el model creat i podrà analitzar millor les conclusions extretes al final del projecte.

En la segona part del projecte, a partir de la secció 4, s'estudia les característiques més importants de l'Aeronau Airbus 380, de la companyia Airbus S.A.S, que actualment és l'avió comercial més gran del món, amb una capacitat fins a 800 passatgers. Un cop definida l'aeronau, en l'apartat 6, es pretén crear un model d'aquest avió, el més aproximat possible a la realitat per crear diferents simulacions i estudiar el procés d'evacuació amb un avió d'aquestes grans dimensions. El problema principal que es vol estudiar, és veure com es

generen els fluxos de passatgers a l'hora d'abandonar l'aeronau i quins són els colls d'ampolla que es formen per l'acumulació de tants passatgers a les sortides d'emergència. Per poder analitzar tot això, es crearà un model en el qual es realitzaran diferents experiments i s'estudiarà diferents situacions, com ara la capacitat de l'aeronau al 100% ocupada, al 85% i al 70%. També es comprovarà quin és l'efecte d'inhabilitar la meitat de les sortides d'emergència de la pròpia aeronau i com afectarà tot això en el temps d'evacuació.

Finalment, obtinguts tots els resultats de la simulació, es podrà extreure conclusions sobre les estratègies més eficients que es poden utilitzar en aeronaus de grans dimensions, amb un nombre de passatgers molt elevat. Es podrà comprovar també, quin és l'efecte de reduir l'ocupació de les aeronaus, inhabilitar algunes sortides, o com afecta la diversitat de passatgers amb unes característiques molt diferents, com poden ser nens, persones grans o passatgers amb mobilitat reduïda. En un futur, un estudi més detallat i millorat del model, podria generar noves decisions a l'hora de dissenyar les aeronaus i ubicar les sortides d'emergència en el propi avió.

## 2. Objectius

### 2.1 Objectius globals

Mitjançant la recerca i anàlisi de les fonts bibliogràfiques obtingudes en l'àmbit de seguretat d'avions, els protocols establerts per a l'evacuació d'aeronaus i les estratègies aplicades avui dia en les companyies aèries, es planteja com a objectiu principal d'aquest projecte, **realitzar un estudi detallat dels mètodes utilitzats per a l'evacuació de passatgers, mantenint sempre la seva seguretat i amb l'objectiu de preservar la vida de tots ells. A més, també es preveu fer un estudi detallat de tots els temps d'evacuació en diferents escenaris que succeeixin en un Airbus A380.**

Un cop assolit aquest objectiu, permetrà obtenir quines són les millors tècniques aplicades per a l'evacuació de passatgers d'una aeronau en qualsevol cas d'emergència. D'aquesta manera, també es podran determinar els mètodes més eficients per preservar la vida de tots els passatgers i millorar la seguretat en els vols. En el cas particular del Airbus A380, es vol aconseguir estudiar els protocols ja establerts i analitzar les millors solucions per evacuar un avió d'aquestes grans dimensions, al mateix temps, es pretén gestionar tots els fluxos d'evacuació dels passatgers en cas d'una d'emergència.

### 2.2 Objectius parcials

Per aconseguir assolir l'objectiu global, és necessari definir una sèrie d'objectius parcials que conformen tot el conjunt. Aquestes fites a curt termini, permetran definir una metodologia eficient per estudiar i analitzar tots els àmbits necessaris per a la realització d'aquest projecte. A continuació, es detallaran els objectius parcials del treball, dels quals el punt IV serà opcional i es realitzarà en cas que quedi suficient temps:

- I. **Estudiar la evolució històrica de la seguretat i evacuació de passatgers en una aeronau:** És necessari contextualitzar el desenvolupament de la seguretat en les aeronaus i la evolució que ha patit al llarg dels darrers anys. Per poder analitzar les estratègies aplicades avui dia, cal tenir un coneixement important dels canvis que han succeït en la seguretat i evacuació d'aeronaus, com també saber per a quins motius

han succeït. Saber aquesta informació serà molt important per analitzar les millors estratègies i determinar aquelles que són més eficients.

- II. **Analitzar els protocols d'evacuació aplicats avui dia i identificar aquells que són més eficients:** Per identificar aquells protocols i mètodes que són més eficients per a l'evacuació de passatgers, primerament és necessari realitzar un estudi que permeti analitzar totes les tècniques aplicades i utilitzades. Per tal de garantir la seguretat dels passatgers, és necessari determinar aquells mètodes que permetin l'evacuació sense posar en perill la vida de les persones ni la seva seguretat. En aquest apartat, es vol assolir l'objectiu de posar a disposició del lector tota aquella informació necessària per conèixer aquest àmbit i introduir-se en la seguretat dels vols.
- III. **Identificar i definir els mètodes d'evacuació més eficients per a un Airbus A380. I realitzar un estudi de totes les tècniques i protocols aplicats en aquest model d'avió:** Avui dia, l'avió comercial més gran del món és un Airbus A380, és per aquesta raó que la gestió dels fluxos d'evacuació poden ser molt complexos, ja que la seva capacitat va de 525 a 853 passatgers, depenent de la seva configuració. Un volum tant gran de passatgers i una gran complexitat, fa que s'hagi de realitzar un estudi molt exhaustiu de tots els mètodes i variables que s'han de tenir en compte. D'aquesta manera, es vol donar a conèixer quins són els protocols estudiats que presenten uns millors resultats per a la seguretat de tots els passatgers.
- IV. **Desenvolupament d'una simulació d'evacuació en un Airbus A380.** En aquest apartat del projecte es realitzarà una simulació d'evacuació mitjançant el programa *Simio* d'un avió comercial, l'Airbus A380. La simulació permetrà veure quines són les diferents possibilitats i mètodes per evacuar una aeronau d'aquestes grans dimensions. Amb els resultats obtinguts es podrà realitzar un estudi d'aquelles que siguin més efectives i aconseguixin evacuar tots els passatgers amb el menor temps possible i amb la màxima seguretat. També s'estudiarà diferents capacitats d'ocupació de l'aeronau, el nombre de sortides o les diverses característiques dels passatgers.



### 3. Metodologia

Resulta imprescindible definir una metodologia de treball que permeti assolir els objectius definits anteriorment i d'aquesta manera, es pot donar resposta a l'objectiu global plantejat en el projecte.

En primer lloc, és necessari realitzar una recerca bibliogràfica per obtenir tota la informació relacionada en l'àmbit aeronàutic, concretament en els mètodes i protocols utilitzats per a l'evacuació de persones d'una aeronau. Per conèixer el tema, es dedicarà una part de la memòria a explicar en què consisteix l'evacuació de persones en una aeronau i quina ha estat la seva evolució al llarg dels últims anys, fins arribar a l'actualitat.

Per complementar la informació obtinguda, és consultaran articles, bases documentals i revistes electròniques o en paper, les quals la universitat ofereix i posa a disposició de tots els estudiants. Alguns d'aquests exemples són: les biblioteques, bases de dades, revistes, articles, etc.

Un cop estudiada l'evolució de l'evacuació en aeronaus i realitzat un estudi detallat de totes les pràctiques aplicades, és definiran quines són les estratègies, protocols, mètodes i mesures de seguretat utilitzades avui dia. D'aquesta manera, es podrà determinar quins són els mètodes més innovadors i recents que s'apliquen en la gestió i planificació a l'hora d'evacuar una aeronau en cas d'emergència.

Seguidament, també és definiran aquells mètodes que presenten una millor fiabilitat i eficiència per resoldre els problemes que puguin succeir durant la sortida d'emergència del personal.

En la darrera part de la memòria del treball, es realitzarà un estudi detallat on s'analitzaran tots els mètodes d'evacuació de passatgers en un Airbus A380. S'ha escollit aquest model d'avió perquè és un dels més recents introduïts en el sector aeronàutic. Aquest model permetrà analitzar i definir uns mètodes i protocols eficients amb un major volum de passatgers que han de ser evacuats. Cal destacar també, que l'evacuació d'una aeronau d'aquestes dimensions pot tenir moltes estratègies, per aquesta raó, és molt important escollir aquella que sigui més eficient i que permeti mantenir la seguretat de tots els passatgers.

La part final del projecte està dedicada a la creació d'un model molt aproximat a un avió Airbus 380, que permetrà estudiar el comportament dels passatgers dins de l'aeronau i veure detalladament com es formen els colls d'ampolla a les sortides. També serà molt útil per comprovar el temps que es tarda en desocupar un avió d'aquestes grans dimensions i quin serà l'efecte d'inhabilitar alguna de les seves sortides. Com a conclusió de tot això, es podrà realitzar un estudi més detallat de les estratègies que es poden utilitzar per evacuar l'aeronau i quins són els protocols que s'han de seguir per reduir el temps d'evacuació al màxim possible.

Durant la realització del projecte, de manera temporal, es realitzaran una sèrie de reunions amb el tutor per discutir, avaluar i fer el seguiment de les tasques realitzades fins aleshores. D'aquesta manera, també servirà com a planificació i correcció de les activitats dutes a terme. Per tal d'assolir els objectius proposats, serà convenient mantenir una regularitat de treball i una interacció amb el tutor.

#### **4. Estudi de viabilitat del projecte**

La viabilitat del projecte es defineix en funció de l'èxit en aconseguir els objectius del treball. Aquest projecte serà viable si es compleixen i es desenvolupen correctament tots els objectius plantejats prèviament a la seva realització.

Si s'analitzen cadascun dels objectius plantejats, el projecte serà viable si es pot realitzar un estudi detallat dels protocols i mètodes d'evacuació que es realitzen avui dia en els avions comercials. També serà necessari realitzar un anàlisi del avió comercial més gran que hi ha actualment, l'Airbus A380, del qual es realitzarà una descripció detallada de les seves característiques, protocols i mètodes per a la seva evacuació eficient.

La viabilitat del projecte es podrà veure afectada i dificultada pel compliment i realització de l'objectiu IV, el qual és una simulació d'evacuació en l'escenari d'un avió A380. El desenvolupament d'aquest apartat podrà no ser complert per la seva complexitat en la creació del model i la durada que pot tenir realitzar-lo. És per aquesta raó, que prèviament s'ha enunciat aquest objectiu com a opcional i que es realitzarà en cas que hi hagi suficient temps per al desenvolupament i creació del model de simulació.

## 5. Planificació temporal de treball

Per poder assolir i aconseguir els objectius marcats, és necessari determinar una programació temporal i realitzar una planificació de les tasques a realitzar en el projecte. Cal tenir en compte, que en la realitat hi poden haver algunes desviacions, però una planificació encertada permetrà realitzar una bona pràctica de totes les activitats. Aquesta tasca, ajudarà també a temporalitzar i emmarcar el progrés del projecte dins d'una guia que serveixi de referència. D'aquesta manera, a continuació es defineixen les activitats que componen el projecte, juntament amb la seva duració i temporalitat en el calendari:

Nom de la tasca	Duració (Dies)	Inici	Fi
<b>Realització del TFG</b>	<b>96</b>	<b>dv 28/02/14</b>	<b>dc 07/07/14</b>
Realització del Pla de Treball	7	dv 28/02/14	dg 09/03/14
<b>Revisió de l'esta de l'art</b>	<b>17</b>	<b>dl 10/03/14</b>	<b>dl 31/03/14</b>
Recerca d'informació i documentació	10	dl 10/03/14	dg 23/03/14
Revisió de la literatura	7	dl 24/03/14	dl 31/03/14
<b>Primera Versió de la Memòria</b>	<b>20</b>	<b>dl 31/03/14</b>	<b>dg 27/04/14</b>
Evolució en l'evacuació	5	dl 31/03/14	dg 06/04/14
Definir i estudiar els protocols actuals	5	dl 07/04/14	dg 13/04/14
Anàlisi del mètodes més eficients d'avui dia	5	dl 14/04/14	dg 20/04/14
Definició de les característiques d'un Airbus A380	5	dl 21/04/14	dg 27/04/14
<b>Segona versió de la Memòria</b>	<b>40</b>	<b>dl 28/04/14</b>	<b>dg 06/06/14</b>
Creació i disseny del model de simulació	25	dl 28/04/14	dg 01/06/14
Anàlisi i estudi dels resultats obtinguts	5	dl 02/06/14	dg 08/06/14
Estudi dels diferents escenaris d'evacuació d'un A380	10	dl 09/06/14	dg 22/06/14
<b>Extracció de conclusions i verificació d'objectius</b>	<b>5</b>	<b>dl 23/06/14</b>	<b>dg 29/06/14</b>
<b>Revisió de les memòries i entrega de la memòria final</b>	<b>5</b>	<b>dl 30/06/14</b>	<b>dg 06/07/14</b>

<b>Lliurament d'informes prèvis a la Coordinadora de TFG</b>	<b>11</b>	<b>dv 11/04/14</b>	<b>dv 25/04/14</b>
<b>Lliurament de memòries a la Gestió Acadèmica</b>	<b>4</b>	<b>dl 07/07/14</b>	<b>dj 10/07/14</b>
<b>Presentació del TFG</b>	<b>5</b>	<b>dl 21/07/14</b>	<b>dv 25/07/14</b>

Figura 4.1: Taula de planificació temporal del projecte

## Planificació temoral:

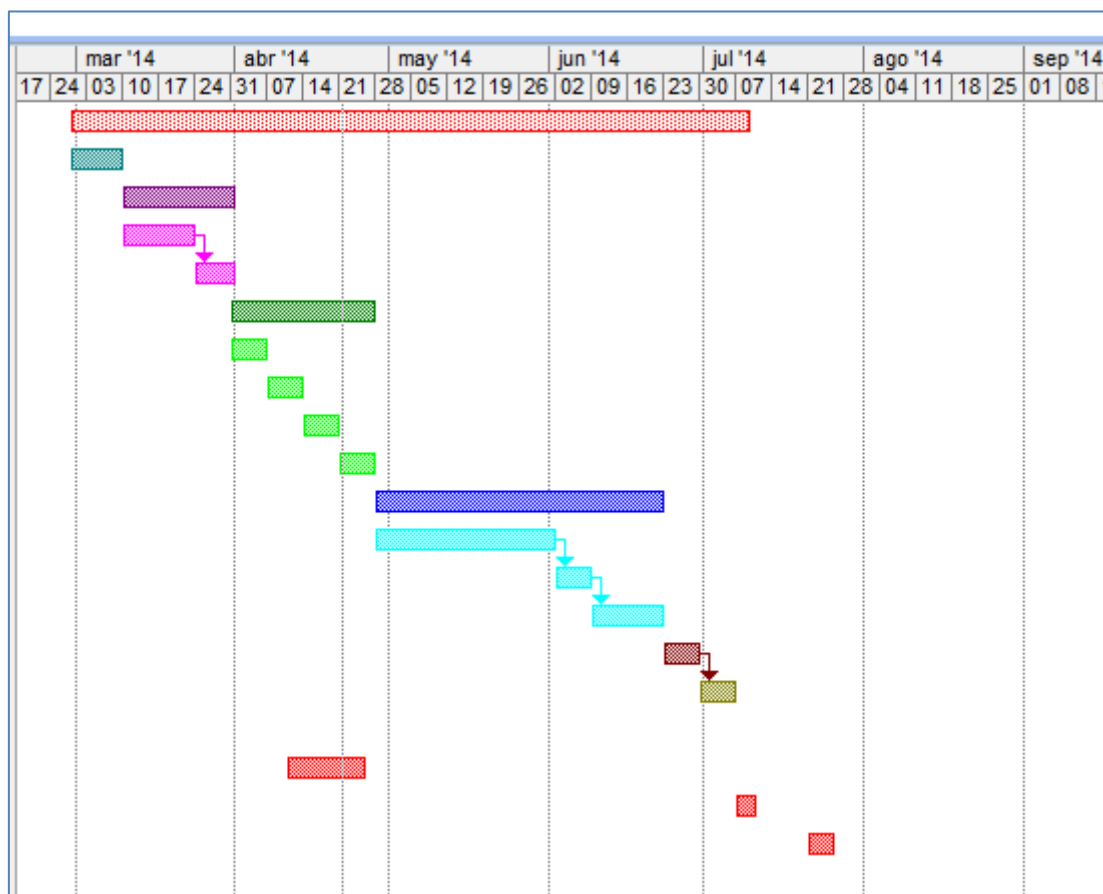


Figura 4.2: Planificació temporal del projecte (Diagrama de Gantt)

## Secció 2: Conceptes bàsics i estat actual del tema



## 6. Introducció

Els procediments d'evacuació d'emergència han demostrat ser efectius i han reduït significativament el nombre de víctimes en els accidents d'aeronaus en els quals han existit supervivents. La ACC<sup>1</sup> ha de considerar com un factor extremadament important per la seguretat aèria, la capacitat del sol·licitant per dur a terme aquests procediments.

Un fabricant d'una aeronau ha de realitzar una demostració d'evacuació d'emergència completa d'acord amb els codis d'aeronavegabilitat del seu Estat, a fi d'obtenir la certificació de tipus d'aeronau. Aquesta certificació és responsabilitat del organisme de certificació d'aeronaus de la ACC del Estat de disseny. La demostració realitzada pel fabricant ha de demostrar el següent:

- El disseny bàsic de l'aeronau i l'eficiència amb la que els passatgers poden ser evacuats amb la mateixa seguretat.
- Els sistemes d'evacuació d'emergència de l'aeronau.
- Els procediments d'evacuació i protocols d'emergència aprovats pel fabricant.

---

<sup>1</sup> ACC (Centres de Control d'Àrea) són centres de control aeri per gestionar i coordinar el tràfic mitjançant sistemes electrònics i computacionals.

## 7. Normativa d'evacuació en aeronaus

Les normatives reguladores en l'aeronavegabilitat de la Unió Europea estan contingudes en el següent document:

- [EASA<sup>2</sup>](#) Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25 (Amendment 4 - sec.28.803) (Any 2007)

Pel que fa a la normativa que regula l'aeronavegabilitat en els Estats Units d'Amèrica, està continguda en aquest document:

- [Code of Federal Regulations](#), Títol 14 – Aeronautics and Space.  
Chapert I – Federal Aviation Administration, Department of Transportation (2008)

Algunes de les normatives que regula el codi Europeu d'aeronavegabilitat, es detallen a continuació per poder entendre, com es desenvoluparan els processos i protocols d'evacuació en cas que succeeixi un accident.

Les normes que regulen l'evacuació d'emergència es detallen en la Sec. 25.803 i l'Apèndix J de la Part 25. L'objectiu del codi és comprovar la evacuació d'emergència sota un conjunt de condicions prescrites i dissenyades.

### ▪ CS 25.803 Evacuació d'Emergència

- I. Cada tripulació i zona de passatgers ha de tenir els mitjans suficients d'emergència que permetin una evacuació ràpida en aterratges d'emergència, ja sigui amb el tren d'aterratge desplegat o retret i considerant la possibilitat de que l'avió s'estigui en flames .
- II. Per als avions amb una capacitat superior a 44 passatgers , s'ha de demostrar que el nombre màxim de places, incloent els membres de la tripulació requerits, poden ser evacuats de l'avió en menys de 90 segons, sota condicions d'emergència. El compliment d'aquest requisit s'ha de demostrar mitjançant la simulació real, utilitzant els criteris de prova indicats en l'apèndix J d'aquesta CS -25 a menys que l'Agència trobi una combinació d'anàlisi i proves que proporcionin les dades equivalents a les que s'obtidrien en una demostració real .

---

<sup>2</sup> **EASA** (European Aviation Safety Agency) és la peça central del sistema de seguretat aèria de la Unió Europea compost per l'Agència, la Comissió Europea i les autoritats nacionals d'aviació (NAA).



## 8. Procediments d'emergència

La gran majoria de les emergències succeeixen durant les fases d'enlairament i/o aterratge, sense cap avís previ. Aquestes emergències són sobtades i inesperades, donant poc marge de reacció a la tripulació i als passatgers que viatgen en l'avió.

A continuació, es detallen totes les possibles situacions d'emergència que es poden presentar en un avió i que requereixen o no evacuar l'aeronau, per tal de garantir la supervivència de tots els passatgers i preservar les seves vides.

### ▪ Aterratge d'emergència previst

Una situació en que l'aeronau hagi de realitzar un aterratge d'emergència, pot ser degut a moltes situacions, ja siguin externes a l'aeronau, per exemple condicions meteorològiques adverses, o internes, com ara una fallada en algun dels motors, averies tècniques de l'aeronau, etc.

En una situació com aquesta, el comandant avisarà al encarregat de cabina lo més ràpid possible, per tal que transmeti la informació a la resta de tripulants i als passatgers de l'avió. Posteriorment, la tripulació de cabina farà ús de la llista de revisió o com es diu normalment "*lista de Chequeo*", seguint l'ordre estipulat dels protocols amb la finalitat de preparar-se per a un aterratge d'emergència.

Un aterratge d'emergència pot ser preventiu o imprevist, i en alguns d'aquests casos pot ser que no requereixi la realització d'una evacuació d'emergència. Això sempre ho decidirà el comandant depenent de la situació de perill en que es trobin els passatgers i la resta de la tripulació.

### ▪ Aterratge d'emergència imprevist

Aquesta situació es produeix quan l'aeronau pateix una emergència que no ha sigut prevista per la tripulació i requereix realitzar un aterratge de la manera més ràpida possible. El temps de reacció per part dels pilots i la tripulació és molt menys i han d'intentar informar als passatgers de manera molt ràpida per tal d'avisar-los que possiblement es produeixi una situació d'emergència. L'evacuació posterior de l'aeronau es decidirà en funció del perill en que es trobin els passatgers i la tripulació, ja que es pot donar el cas que no sigui necessària.

## ▪ Evacuació

La tripulació de cabina en tot moment ha d'estar preparada per evacuar l'avió en cas que es produeixi una situació d'emergència i estar alerta de possibles indicis de perill que succeeixin, com ara l'aparició de fum, foc, espurnes, sorolls inusuals, etc.

Hi ha dos tipus d'evacuacions:

**Prevista:** És aquella evacuació en la que es disposa de temps suficient per informar als passatgers i a la tripulació.

**Imprevista:** És aquella evacuació en la que no es disposa de temps suficient per informar als passatgers i a la tripulació.



Imatge 8.1: Butlletí informatiu dels protocols d'evacuació en un A-380

## ▪ L'amaratge i la seva evacuació

S'entén l'amaratge com el mètode d'aterratge d'una aeronau en una superfície d'aigua, com ara el mar, un llac, etc.

Aquesta situació d'emergència es produeix quan l'avió es troba en la superfície aquàtica, ja sigui perquè ha realitzat un aterratge d'emergència sobre l'aigua o ha impactat contra ella al estrallar-se.

Per sobreviure i ser rescatat amb èxit en una situació d'emergència així, és imprescindible tenir en compte els següents factors:

- **Protecció:** És l'acció més important en la qual els passatgers s'han de protegir de les condicions climàtiques adverses (l'aigua, l'efecte del fred, el vent, la roba humida, les temperatures extremes, etc.).
- **Localització:** S'ha de tenir preparat tot l'equip de senyalització per poder ser rescatats.
- **Aigua:** Per sobreviure en aquestes condicions és indispensable que els passatgers i la tripulació agafin tota l'aigua possible de l'avió per mantenir-se hidratats.
- **Menjar:** També és essencial aconseguir tot l'aliment que sigui possible. És molt important que la quantitat d'aigua i menjar sigui en la mateixa proporció.

En una situació d'amaratge previst, els procediments a seguir per part de la tripulació de cabina i els passatgers són els mateixos que els procediments d'un aterratge d'emergència, els quals ja s'han explicat anteriorment, a excepció dels següents punts:

- Els passatgers han de ser informats dels procediments d'amaratge.
- La tripulació de cabina ha de realitzar una demostració de la utilització de les armilles salvavides i comprovar que els passatgers les utilitzen correctament.
- S'ha de recordar que les armilles salvavides únicament han d'inflar-se fora de l'avió.

A continuació es detallen els factors previs que s'han de tenir en compte abans d'iniciar una evacuació en el mar:

- Determinar el nivell d'aigua fora de l'avió.
- Determinar el nivell d'aigua que hi ha dins de l'avió.

- Si el nivell de l'aigua està proper al marc de la porta, aquesta queda inutilitzable, i els tobogans/rampes d'emergència poden ser trets d'aquesta porta i transportats a altres sortides operatives.
- Algunes sortides poder estar inoperatives degut al comportament de l'avió en l'aigua.

La majoria dels avions disposen d'un equipament d'emergència i elements de flotació per a les operacions sobre l'aigua, com ara les següents:

- Armilles salvavides per la tripulació.
- Armilles salvavides pels passatgers.
- Armilles salvavides extres.
- Armilles salvavides per a nens.
- Tobogans/barques.
- Kit de supervivència.
- Valisa de transmissió d'emergència (ELT).

#### ▪ Foc en cabina

La tripulació de cabina ha d'estar pendent de l'amenaça de foc que es pugui realitzar a la cabina de passatge, realitzant revisions en la cabina, en els lavabos i especialment en els vols nocturns, amb la finalitat d'assegurar que no existeixi cap presència de foc o fum.

És molt important que tots els extintors de l'aeronau funcionin correctament i que no hi hagi cap obstacle que eviti la seva utilització.

La millor prevenció, inclou una continua vigilància en l'aplicació de tots els procediments descrits i mantenir separats els tres elements que componen el foc: oxigen, font de calor i material combustible.

Durant un foc en una cabina de l'avió es genera fum, el qual pot provocar intoxicacions dels passatgers i obligar a realitzar una evacuació d'emergència. En cas que el foc produeixi fum, es poden realitzar les següents accions:

- La tripulació de cabina ha d'informar als pilots de l'avió la presència de fum i/o foc.

- El comandant ha de valorar la situació i si es necessari, iniciar el procediment d'evacuació per foc.
- La tripulació de cabina ha d'assegurar que s'està utilitzant correctament el *smokehood* (mascara col·locada al nas-boca que permet respirar sense inhalar fums ni gasos).
- Controlar i vigilar els passatgers per evitar situacions de pànic o majors situacions de perill.
- Administrar oxigen medicinal als passatgers que presentin símptomes d'insuficiència respiratòria degut a la inhalació de fum o vapors, abans però, s'han de retirar als passatgers de la zona de foc.
- Mantenir els passatgers amb els caps ajupits a l'altura dels reposa braços per evitar la inhalació de fum.

## 9. Passatgers amb mobilitat reduïda i passatgers especials

El **passatger amb mobilitat reduïda** és aquell que té una mobilitat limitada a efectes de la utilització d'un mitjà de transport a causa de qualsevol discapacitat física (sensorial o de locomoció, permanent o temporal) o mental. També pot ser degut a qualsevol altra causa de discapacitat que necessita una atenció especial i l'adaptació a les seves necessitats dels serveis, que es posen a disposició de tots els passatgers.

Amb caràcter general, es considera PMR (passatger amb mobilitat reduïda) aquella persona que necessita l'ajuda d'una altra per dirigir-se a la sortida de l'aeronau en el moment que es produeixi una evacuació d'emergència. Això també inclou els passatgers que tenen series dificultats per rebre o comprendre les instruccions d'emergència.

Des del 260 de Juliol del 2008 és en vigor el [Reglament \(CE\) 1007/2006 del Parlament Europeu i del Consell](#), del 5 de Juliol del 2006, sobre els drets de les persones amb discapacitat o mobilitat reduïda en el transport aeri.

De manera genèrica i centrant-se en els passatgers que es troben a bord de l'aeronau, el servei o assistència que han rebran els PMR serà el requerit per la normativa i que satisfaci les seves necessitats i responsabilitats. En cas d'una evacuació d'emergència, els tripulants de cabina actuaran i seguiran els protocols d'emergència en funció de la discapacitat del pacient.

En l'evacuació, és molt important tenir en compte les diferents discapacitats que poden tenir les persones, ja que aquestes poden modificar els protocols d'emergència i s'haurà d'actuar i planificar en funció de les seves necessitats i possibilitats. Per aquesta raó, a continuació es diferencien les discapacitats dels passatgers en els següents grups:

- **WCHC**

Passatgers privats de qualsevol mobilitat i no autosuficients. Han de ser acompanyats al seu seient i necessiten ajuda personal completa. Si el viatge dura més de tres hores, requereixen d'un acompanyant.

- **WCHR**

Passatgers que necessiten ajuda durant el trasllat entre l'aeronau i la terminal, són autosuficients per embarcar i desplaçar-se dins de l'aeronau.

- **WCHS**

Passatgers que necessiten ajuda entre l'aeronau i la terminal, també per embarcar, però són autosuficients dins de l'avió.

- **DEAF**

Passatgers amb deficiències auditives, sords o sordmuts.

- **BLND**

Passatgers amb discapacitats visuals.

- **DEAF/BLND:**

Passatgers sords i invidents, que només poden desenvolupar-se amb l'ajuda d'un acompanyant.

- **DPNA**

Passatgers amb algun tipus de discapacitat intel·lectual o de desenvolupament psicomotriu.

- **MAAS**

Són tots els altres passatgers que requereixen assistència i que no es troben definits en les categories anteriors.

## 10. Passatgers especials

El **passatgers especials** són considerats aquelles persones que necessiten un tracte especial com ara els nens que viatgen sols, les dones embarassades, els malalts, totes les persones que poden tenir en certs moments algun problema de mobilitat, etc. Per que la companyia i la tripulació pugui oferir l'ajuda requerida és imprescindible que el passatger en faci constància a l'hora de reservar el bitllet.

La majoria del passatgers, els que estan en condicions saludables i un percentatge molt important dels malalts, poden no tenir cap inconvenient per realitzar el vol amb les condicions normals, inclús amb menor risc que en la vida diària. No obstant, hi ha certes situacions en les que la consulta prèvia al metge o especialista resulta molt recomanable per fer un viatge amb avió, en especial els de llarg recorregut.

La majoria de les ajudes requerides per aquests grups de persones, en la majoria dels casos, són presentades per la companyia aèria sense cap obligació contractual i en la mesura de lo disponible per part de la tripulació de cabina.

- **Passatgers malalts:** En el cas d'alguns passatgers malalts, correspon al servei mèdic de la companyia aèria estudiar la possibilitat de que puguin viatjar o no i en quines condicions ho han de fer.

El seu transport podrà fer-se en llitera o acomodat en un o més seients, però prèviament s'haurà de consultar les condicions de la companyia aèria aplicades a cada cas. Quan el transport sigui amb llitera, el passatger haurà d'anar acompanyat per una persona.

- **Dones en estat de gestació:** Les companyies aèries recomanen no realitzar viatges en avió quan el període de gestació superi les 36 setmanes. No obstant, haurà de consultar amb el seu metge i si aquest ho autoritza, podrà viatjar passades aquestes 36 setmanes, firmant un Descàrrec de Responsabilitats de la companyia davant de qualsevol eventualitat que sorgeixi derivat del seu estat.
- **Menors de 12 anys:** Com a regla general, els nens menors de 12 anys hauran de viatjar acompanyats d'una persona major d'edat o contractant amb la companyia la responsabilitat prèvia d'un tripulant de cabina. Les companyies aèries no tenen cap



restricció sobre el nombre de menors a bord de l'avió, l'única restricció és que no poden seure en seients localitzats en les sortides d'emergència.

Depenent del número de menors que viatgin a bord de l'avió, serà necessari un nombre d'acompanyants que es facin responsable dels passatgers menors de 12 anys. A continuació es pot veure en la taula següent.

De 1 a 23 menors	1 Acompanyant
Entre 24 i 35 menors	2 Acompanyants
Entre 36 i 47 menors	3 Acompanyats

Taula 10.1: Nombre d'acompanyants per a cada grup de menors

Si el menor ha complert els cinc anys podrà viatjar sol, sempre i quan la persona responsable del menor firmi un Descàrrec de Responsabilitat i garanteixi que en l'aeroport d'arribada es farà càrrec d'ell un adult prèviament identificat.

## 11. Revisió de la literatura científica

Les evacuacions d'emergència en el transport aeri no són molt freqüents, però és molt important realitzar-les correctament, seguint els protocols de seguretat, ja que d'aquesta manera es poden salvar moltes vides de persones que viatgen en l'avió. Els següents articles, constitueixen una revisió de la literatura científica existent relacionada amb aquest tema, on s'exposen de forma resumida els principals estudis i aportacions sobre la matèria. Això permetrà identificar possibles àrees de millora i d'aquesta manera realitzar un estudi per a la creació del model de simulació que es planteja en la segona part del projecte.

[Yu-Chun Chang \(2012\)](#), del Departament de Transport de Ciències de la Universitat Nacional Oceànica de Taiwan, considera les diferències que hi ha en la seguretat entre els passatgers de mobilitat reduïda i els passatgers regulars en cas d'un accident. L'estudi està basat en enquestes realitzades als passatgers, les quals fan referència a la teoria del comportament planificat i a la seguretat de cabina.

Les portes d'emergència de l'avió van ser dissenyades per permetre a tots els passatgers ser evacuats dins els 90 segons, sense tenir en compte qualsevol temps addicional que necessitessin els passatgers amb mobilitat reduïda (PRM). Aquests passatgers necessiten confiar en l'ajuda proporcionada per les persones que els acompanyen o per la tripulació de cabina durant els procediments d'evacuació, i és més probable que surtin ferits quan sorgeix una emergència degut a la seva discapacitat de moviment.

La teoria del comportament planificat és una extensió de la teoria de l'acció raonada en què una intenció de conducta pot manifestar-se en el comportament només si el comportament en qüestió està sota control voluntari (*Ajzen i Madden, 1986*).

En els casos d'emergència apareixen una sèrie d'esdeveniments adversos concentrats en un període de temps, els quals poden provocar ansietat i estrès als passatgers. L'estrès és un factor que s'ha de tenir molt en compte a l'hora d'analitzar la seguretat i els processos d'evacuació, ja que pot alterar els resultats i les prediccions degut a la seva incertesa.

L'estudi realitzat analitza els tipus de passatgers amb mobilitat reduïda que viatgen normalment en avió, on un 39% dels enquestats viatjava per oci i temps lliure i un 38,3% per visitar amics i familiars.

Algunes de les preguntes que feien referència en les enquestes eren: Les línies aèries haurien de millorar la formació de la tripulació de cabina per ajudar als passatgers amb necessitats especials en cas d'emergència?", "Les CAA han de cooperar amb les escoles i les organitzacions de benestar social per simular els procediments d'evacuació d'avions?", i "Les aeronaus haurien d'estar equipades amb seients especials com en altres mitjans de transport? ".

Els resultats obtinguts en l'estudi mostren que els passatgers amb mobilitat reduïda són més baixos que els passatgers regulars. A més, els passatgers amb mobilitat reduïda tenen algunes diferències significatives amb els passatgers regulars, com per exemple, en l'acceptació d'una norma subjectiva per a la seguretat de cabina i alguns controls de percepció de comportaments de seguretat. Com a conclusió de tot això, és pot determinar que els passatgers amb mobilitat reduïda poden ser un factor de risc elevat en la seguretat de la cabina.

Un altre estudi realitzat per la Universitat Nacional ChengKung, [Yu-Hern Chang i Hui-Hu Yang \(2010\)](#), explora quines són les percepcions de seguretat en la cabina que mostren els passatgers en cas d'un accident d'aviació real. L'estudi és realitzat mitjançant enquestes i qüestionaris als passatgers de la companyia Xina Airlines. Els resultats de les entrevistes, en profunditat, mostren que l'educació en la seguretat dels passatgers requereixen més instruccions sobre l'ús de l'equipatge d'emergència i tots els seus protocols. Aquests resultats mostren que l'assistència de la tripulació i els procediments d'emergència són els factors més importants en l'evacuació d'una aeronau.

Una evacuació d'emergència ha de ser ràpida i segura, és per això que l'[Administració Federal d'aviació dels EUA \(FAA\)](#) <sup>3</sup> requereix que tots els passatgers i membres de la tripulació han de ser capaços d'abandonar la cabina de l'avió de forma segura en menys de 90 segons, amb la meitat de les sortides disponibles bloquejades, amb la il·luminació mínima prevista i una certa barreja d'edat en el gènere dels ocupants.

---

<sup>3</sup> La missió de la **FAA** és proveir el sistema aeroespacial de més seguretat i més eficiència en el món. S'encarreguen també de les responsabilitats mediambientals el lideratge mundial, són responsables davant el públic Nord-americà.

En l'article també es menciona que les tècniques utilitzades avui dia són les simulacions numèriques, com a eines de demostracions d'evacuacions reals. Una de les principals dificultats trobades en la simulació numèrica d'una operació d'evacuació està relacionada amb la modelització del comportament dels passatgers, ja que aquesta està influenciada per una complexa barreja de factors socio-psicològics i físics ([Poudel et al., 2005](#)).

D'altra banda, és essencial tenir una comprensió completa del comportament en condicions d'alt estrès i desorientació en un accident real, per ser utilitzat i desenvolupar mesures que millorin la probabilitat d'èxit en una evacuació. En algunes situacions d'emergència apareixen el fum i el foc, on es percep com una amenaça per part dels passatgers, d'aquesta manera, intenten salvar les seves vides, i en alguns casos, la dels membres de la seva família. És en aquestes situacions on la gent no treballa en col·laboració, estan desorganitzats i no segueixen els protocols d'evacuació. En totes aquestes situacions, la única cosa que genera és un incompliment dels protocols d'evacuació, que poden produir més ferits, enrederir el temps d'evacuació i posar en perill la vida d'altres persones.

Els resultats d'aquest estudi reforcen l'opinió que els procediments d'assistència de la tripulació i d'emergències són els factors més importants en la seguretat de cabina. Les línies aèries haurien de millorar la seguretat prèvia als vols, amb més sessions d'informació i d'emergència, fent més atractives les targetes d'evacuació de que disposen els passatgers, a més d'informar correctament com utilitzar millor l'equip d'emergència a bord de la cabina. Seguidament, les línies aèries han de desenvolupar procediments per al maneig d'equipatge de mà durant una evacuació, ensenyar els procediments d'evacuació a tota la tripulació i realitzar practiques de simulacre d'emergències i evacuació. També és important ensenyar a la tripulació tècniques de comportament, com ara la importància del lideratge, la capacitat de donar instruccions, informes clars i concisos, fer front a les necessitats especials dels passatgers, mantenir l'ordre de la cabina i reduir o evitar el pànic.

L'estudi de les evacuacions d'accidents pot ajudar a disminuir lesions dels passatgers i augmentar la supervivència.

Seguint amb el tema de seguretat en cabina, [Meng-YuanLiao \(2013\)](#), del Departament d'Informació de Turisme del la Universitat Aletheia (Taiwan), va realitzar un estudi que avaluava l'educació que rebien els nens de primària relacionada amb la seguretat en els avions. El programa d'educació va se dissenyat per als nens i nenes en edat escolar sobre la base de les instruccions de seguretat en la cabina dels avions. Aquest estudi empíric es va fer

amb una enquesta abans i després de que els nens rebessin la informació i tots els coneixements.

Segons [el Transport de Canadà \(2011\)](#), l'objectiu de la seguretat en cabina és “augmentar la taxa de supervivència i minimitzar els perills que es produeixen a la cabina per reduir els efectes d'un accident”. Els temes relacionats amb la seguretat de cabina són nombrosos, i alguns exemples són: la resistència al impacte, les operacions, els factors humans, la psicologia, la biodinàmica, la fisiologia, l'ergonomia i la pedagogia. El propòsit de l'educació en la segureta de cabina, és informar als passatgers i oferir un coneixement precís sobre la seguretat, per tal de formar-los i que aprenguin a reaccionar en cas d'emergència.

L'educació de seguretat en cabina és cada vegada més essencial, ja que cada vegada un major nombre de persones viatgen en avió, i cada cop més, són nens que viatgen sols. De fet, la necessitat de l'educació per a la seguretat de cabina ha estat discutida des de les perspectives acadèmiques i pràctiques ([Chang & Liao , 2008](#); [Muir & Thomas , 2004](#); [NTSB , 1985](#)), però pocs programes de formació sembla que s'han desenvolupat.

Com que el transport aeri és molt comú en la majoria de les societats, fa necessari desenvolupar una educació que formi a les persones en temes de seguretat en els avions, començant pels nens. D'aquesta manera, es veurà incrementada la probabilitat de supervivència dels passatgers en un accident ([Muir i Thomas, 2004](#)), i disminuirà la probabilitat de lesions en els passatgers ([Chang i Liao, 2008](#)).

Aquest estudi realitzat per [Meng-Yuan Liao](#), conclou que és necessari formar el nens per explicar “què”, “quan”, “com” i “per què” s'ha d'actuar en cas d'un accident aeri. La televisió i Internet són una font molt important per informar als nens i a les persones sobre la seguretat en cabina, però pot ser més essencial un instructor que ensenyi eficaçment als alumnes sobre aquests temes. Un cop acabat el programa de formació als nens, es va poder comprovar que gairebé tots van millorar els seus coneixements i actituds, independentment de la seva escola, ubicació i experiència en viatges aeris. D'aquesta manera, es pot confirmar que els programes d'educació en seguretat és un mètode eficaç per millorar el coneixement de les persones i els nens sobre la seguretat en cabina, les actituds i les intencions de comportament.

Un altre estudi realitzat per [Yueh-LingHsu i Te-Chang Liu \(2011\)](#), del Departament de Transport Aeri de la universitat de Kainan (Taiwan), analitza quins són els factors de risc relacionats amb l'estructura de les cabines aèries. En aquest article s'identifiquen els riscos mitjançant el model de 5-M (mitjans de comunicació, l'home, la màquina, la gestió i la missió), la teoria borrosa i un model d'equacions estructurals.

Les amenaces que poden succeir en una aeronau són: turbulències, fum o foc a la cabina, la descompressió, aterratges d'emergència, evacuacions d'emergència. L'[Associació Internacional del Transport Aeri, IATA \(2008\)](#)<sup>4</sup>, afirma que l'operació de seguretat en la cabina inclou la recollida de dades proactives i activitats preventives pel disseny de la cabina i el funcionament, equipament, procediments, formació de la tripulació, el rendiment humà i la gestió dels passatgers.

Una sèrie d'incidents recents en la indústria aèria no només han posat de manifest la necessitat de prestar més atenció a la seguretat de cabina, sinó també a millorar l'ambient de cabina que afecta a l'actitud i comportament de la tripulació pel que fa en el tema de seguretat. L'[Organització d'Aviació Civil Internacional, OACI \(2006\)](#)<sup>5</sup>, assenyalava el compromís de l'empresa / administració, una cultura de seguretat positiva, procediments normalitzats de treball, llistes de verificació i sessions informatives, en les quals s'informa dels perills, incidents i les normes de seguretat en cabina.

---

<sup>4</sup> L'**Associació Internacional del Transport Aeri (IATA)** busca ajudar a les companyies aèries simplificant els processos i incrementant la conveniència del flux financer dels seus ingressos mentre redueix costos i augmenta l'eficiència.

<sup>5</sup> L'**Organització d'Aviació Civil Internacional (OACI)** és un organisme especialitzat de les Nacions Unides, creat el 1944 després de la signatura de la Convenció sobre aviació civil internacional (Conveni de Chicago). S'encarreguen de desenvolupar normes i mètodes recomanats (SARPS) que després són utilitzats pels Estats quan desenvolupen les seves regulacions jurídiques d'aviació civil.

### *La simulació com a eina de seguretat: L'evacuació del Airbus A380*

Un estudi realitzat per la enginyera industrial [Vanessa Escolana](#), de la Universitat Politècnica de Catalunya, demostra la importància que té la simulació com a eina principal a l'alternativa del concepte "Performance" (prestacions). D'aquesta manera, el programa permet detectar situacions d'un procés d'evacuació real: aglomeracions, colls d'ampolla constructius, situacions de bloqueig en les sortides,... a més de permetre elaborar o validar els aspectes més comuns dels Plans d'Emergència (número de sortides, dimensions de les escales o rampes, recorregut d'evacuació, etc.)

En aquest cas particular, el model més habitual d'un A380 compta amb 550 seients, pertinents a tres classes diferents i distribuïts en les dos cobertes que posseeix l'aeronau, però pot arribar a allotjar més de 800 passatgers.

El simulacre que es va realitzar per aconseguir la certificació de l'aeronau seguint les normes de la [FAA](#)<sup>6</sup> i l'[EASA](#)<sup>7</sup> amb: un 35% dels passatgers amb més de 50 anys, un 40% del passatge format per dones i un 15% de dones amb més de 50 anys, va demostrar que l'avió pot ser evacuat en menys de 90 segons.

L'objectiu de l'estudi era realitzar una simulació que comparés entre els valors de temps obtinguts en un simulacre real i una simulació per un programa. Les conclusions van determinar que no és un error validar els resultats obtinguts pel programa de simulació i que no es posa en perill la seguretat dels passatgers. Les eines de simulació permeten elaborar un Plans d'Emergència que permetin observar i valorar les possibles deficiències que serien necessari corregir, com ara l'existència de colls d'ampolla o els temps d'evacuació excessius respecte a la seguretat dels ocupants.

El bon ús de les eines informàtiques i la seva correcta interpretació, permeten realitzar anàlisis que per altres medis serien molt costosos o impossibles, mentre que, per altra part, l'obtenció de dades, resultats i noves alternatives mitjançant la simulació impliquen costos i temps mínims.

---

<sup>6</sup> **FAA** (Administració Federar Aèria).

<sup>7</sup> **EASA** (Agència Europea de Seguretat Aèria)





## Secció 3: L'evacuació en un avió



## 12. L'evacuació en una aeronau

L'evacuació d'una aeronau es dona perquè hi ha una emergència que obliga a tots els passatgers a abandonar l'avió. La principal responsabilitat d'evacuació és de la tripulació de cabina, la qual ha de dirigir a tots els passatgers fins les sortides d'emergència que es trobin disponibles i coordinar tot el procediment d'evacuació. L'objectiu d'evacuar un avió és per assegurar que tots els passatgers i membres de tripulació abandonin l'aeronau de la forma més ràpida i segura possible.

Alguns factors contribueixen a l'èxit d'evacuació d'emergència:

- El coneixement dels procediments per part de la tripulació de cabina, com ara la capacitat, experiència i conducta del TCP.
- L'ambient a l'interior i l'exterior de l'aeronau (per exemple, la presència de fum i/o foc, la il·luminació de la cabina, les condicions externes, etc).
- El comportament dels passatgers, l'edat, el nivells d'aptituds i la motivació.
- La configuració de l'aeronau i el disseny de la cabina.

Durant una emergència és molt important que la tripulació de cabina pugui aplicar els seus coneixements, formació i experiències de la manera més ràpida possible per adaptar-se a la situació.



Imatge 12.1: Protocols d'evacuació en un A-380

## 12.1 Quan pot ser iniciada una evacuació per part de la tripulació de cabina?

Des de l'enlairament fins l'aterratge, la tripulació de cabina ha d'estar alerta a qualsevol indicatiu d'una possible emergència. Aquestes indicacions poden incloure foc, fum, metall raspant, sorolls inusuals, la força del impacte o una actitud inusual de l'aeronau.

Moltes evacuacions no són planejades i es produeixen sense avís previ. En la majoria dels casos, la decisió d'evacuar és realitzada per la tripulació de vol (pilot). En alguns altres casos, també pot ser iniciada per la tripulació de cabina, com per exemple, en situacions catastròfiques: foc incontrolable, fum dens, danys estructurals, aterratge d'emergència a l'aigua, quan no hi ha comunicació amb la tripulació de vol, etc.

Quan la tripulació de cabina decideix iniciar una evacuació, primerament s'ha d'avaluar el nivell de perill i les conseqüències que pot tenir un retard en la presa de decisions. És imprescindible prendre una decisió ràpida i encertada, ja que tots els passatgers i tripulants de l'avió estan sotmesos a un cert grau de perill.

Si la tripulació de cabina considera que l'evacuació és necessària, han d'intentar posar-se en contacte amb la tripulació de vol per tal d'informar-los sobre la situació.

En aquests casos, el retard de l'evacuació redueix les possibilitats de supervivència.

Una evacuació requereix coordinació entre la tripulació de cabina. Per tant, tots els membres de la tripulació han de ser informats que hi ha una situació de perill i han de realitzar tots els processos de manera controlada i organitzada, però sempre de la manera més ràpida i segura possible.

## 12.2 Directrius d'una evacuació

- L'evacuació no pot ser iniciada fins que l'avió no estigui completament aturat.
- S'ha d'assegurar que els motors no estiguin en funcionament abans de l'obertura de les portes anteriors o posteriors dels mateixos.
- La tripulació de cabina ha d'iniciar l'evacuació després de la senyal del pilot.
- La tripulació de cabina ha de prendre la decisió, de manera independent, a iniciar l'evacuació en els casos que s'observi un dany estructural considerable, situació de perill de mort (foc, fum, forces de l'impacte, amaratge, etc.) o actitud anormal de l'avió i que no hi hagi resposta dels pilots.
- Si hi ha una emergència i el temps ho permet, s'ha d'informar als pilots abans d'iniciar una evacuació.
- La tripulació de cabina ha de seguir les instruccions addicionals donades pels pilots de l'aeronau.
- Si un tripulant de cabina inicia l'evacuació, la resta ha de seguir immediatament els procediments d'evacuació.
- Si un tripulant de cabina veu que la seva vida corre perill intentarà salvar-se, ja que la seguretat del personal té prioritat.

## 12.3 Factors que influeixen en l'èxit d'una evacuació d'emergència

- **Un equip de cabina encertat:** És necessari que la tripulació utilitzi el llenguatge corporal i un to de veu segur, per tal de donar un missatge clar i entenedor als passatgers.
- **Ordres d'emergència:** En casos d'impactes, la tripulació de cabina ordena als passatgers posar-se en posició d'impacte. D'aquesta manera, en primer lloc s'aconsegueix reduir el grau de moviment del cos, degut a que els passatgers han d'inclinar-se sobre les seves cames i en segon lloc, evita o protegeix als passatgers de colpejar-se contra una superfície dura.



Imatge 12.2: Posició d'impacte

- **Avaluació de les condicions externes:** Abans d'obrir una sortida, la tripulació de cabina ha de comprovar que les condicions exteriors siguin segures i que la zona de desplegament del tobogan sigui clara. Alguns exemples de perill serien el foc, obstacles a l'exterior, residus, etc.

Un cop la zona sigui segura, és podrà procedir a obrir la porta. Seguidament, es desplegarà el tobogan. Per controlar la correcta evacuació, sempre es quedarà a la porta un membre de la tripulació per guiar als passatgers. Aquest tripulant serà l'últim en abandonar l'aeronau.

- **Utilitzar l'espai d'ajuda:** A cada porta hi ha un espai pels tripulants de cabina, d'aquesta manera, poden ajudar a evacuar a les persones i evitar que siguin empesos fora de l'aeronau.
- **Ordres de control de multituds:** La tripulació de cabina ha de tenir un control absolut de la situació i proporcionar ordres assertives i instruccions als passatgers.
- **Equipatge de mà:** L'equipatge de mà portat a les sortides pot causar obstruccions i la congestió de la sortida i els passadissos, això pot produir un augment del temps d'evacuació i/o una reducció de la seva eficiència. Per aconseguir l'objectiu, els tripulants de cabina hauran d'avisar als passatgers abans d'iniciar l'evacuació que deixin tot el seu equipatge i que no agafin res.

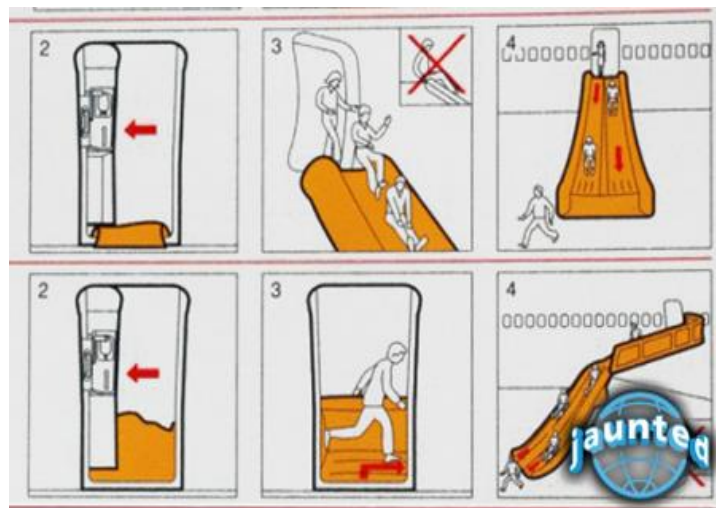


Imatge 12.3: Salt pel tobogan d'emergència

- **Ordres de gestió del flux de sortida:** La tripulació de cabina ha de supervisar l'evacuació i mantenir un flux uniforme de passatgers des de cada sortida, per tal d'evitar la congestió a l'extrem de sortida. En algunes situacions, la tripulació haurà de fer valer la seva autoritat, a fi d'evitar demores i mantenir la seguretat dels viatgers. Per això, en certs casos excepcionals, pot ser necessari l'ús d'una certa quantitat de força física, per tal d'animar alguns passatgers a sortir de l'aeronau.
- **Sortides no disponibles:** Una sortida pot ser que no es trobi disponible al inici de l'evacuació o que quedi inutilitzable durant la evacuació, en alguns casos degut a que està encallada, no es pot utilitzar de forma correcte i segura, o hi ha riscos externs, etc. El membre de tripulació de cabina responsable informará als passatgers que la sortida està bloquejada i els dirigirà a la sortida disponible més propera.
- **Configuració i disseny de la cabina:** La configuració de la cabina pot tenir un impacte important en el flux de l'evacuació, per exemple: la disposició física de la cabina, els seients, l'accés a les sortides, l'amplada dels passadissos transversals, etc. La cabina ha d'estar dissenyada de tal manera que millori l'evacuació i sigui més eficient.
- **Sortida de derivació:** Si la sortida d'emergència està congestionada durant l'evacuació, pot ser que el tripulant de cabina redirigeixi alguns passatgers a la sortida disponible més propera per disminuir el flux de persones i descongestionar-la. En els casos contraris, aquelles sortides que no estiguin gens congestionades, els passatgers seran redirigits perquè les utilitzin i així maximitzar el nombre de passatgers que abandonin l'aeronau.
- **Evacuació dels tripulants:** Un cop evacuats tots els passatgers, els tripulants asseguraran que tothom ha abandonat l'aeronau i agafaran l'equip d'emergència en aquells casos que sigui necessari, com ara en evacuacions fora dels camps d'aviació. Seguidament, ells seran els últims membres que abandonaran l'avió.
- **Responsabilitats post-evacuació:** Quan la tripulació de cabina està fora de l'aeronau, són ells els responsables de tots els passatgers fins que arribin els serveis d'emergència o les autoritats. Les funcions que realitzaran són: mantenir els passatgers junts i allunyats de l'aeronau, ajudar-los i si cal aplicar els primes auxilis, fer un recompte dels passatgers, etc.

### 13. Com utilitzar els tobogans inflables en una aeronau

En un vol comercial podria resultar el cas que es produís una situació d'emergència o un accident. Posteriorment, els tripulants de l'avió ordenarien a tots els passatger abandonar l'aeronau de la manera més ràpida i ordenada possible. Per fer-ho, les estratègies d'evacuació compten amb sortides d'emergència que integren rampes o tobogans inflables i permeten evacuar l'aeronau d'una manera molt més ràpida, i així, evitar més riscos innecessaris. En aquests casos d'emergència, estrès, desordre, nerviosismes,... és fàcil utilitzar els tobogans d'emergència? I sabrien tots els passatgers com fer-ho?



Imatge 13.1: Protocol dels tobogans d'emergència

Per poder respondre a les preguntes plantejades i donar ha conèixer la utilització i funció de les rampes d'emergència, aquest projecte dedica un petit apartat a la utilització d'aquesta estratègia d'emergència.

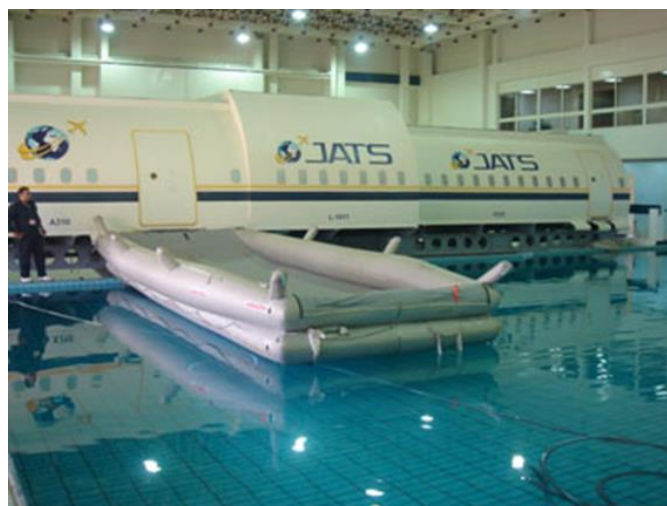
Les autoritats de seguretat aeronàutica anuncien algunes recomanacions que s'han de realitzar a l'hora d'abandonar una aeronau per mitjà de rampes o tobogans inflables:

1. Ubicar les sortides que es troben més properes al seient.
2. En cas que els tripulants de cabina ordenin abandonar l'aeronau, els passatgers hauran de deixar totes les seves pertinences al seu lloc.



3. Un cop ubicats a la porta d'emergència, amb el tobogan inflat i seguint les indicacions dels tripulants, hauran de saltar cap endavant i lliscar per ell.
4. Per molts experts, és recomanable cridar en el moment de saltar pel tobogan, ja que les persones alliberen la tensió acumulada del moment i ajuda a relaxar en aquestes situacions de tant estres.
5. Els passatgers hauran de saltar amb una postura correcta, creuant els braços per protegir el seu pit, les cames totalment estirades i els talons aixecats una mica, tal i com es pot veure en la imatge 13.1. Les dones no podran portar sabates de taló en el moment de saltar.
6. Una vegada la persona arribi a terra, haurà de córrer endavant per allunyar-se de l'àrea de perill.
7. Seguidament, els tripulants de cabina seran els responsables i encarregats de mantenir l'ordre i la seguretat de tots els passatgers evacuats.

Les rampes d'emergència o tobogans inflables són un mitjà d'evacuació molt eficient, ja que permet reduir el temps i facilitar el procés. Avui dia, tots els avions comercials disposen d'aquesta tecnologia i són capaços d'inflar-se en només 3 segons, això és gràcies al sistema intern d'injecció de gas comprimit a molta alta pressió. Algunes de les característiques més importants, són que poden aguantar un incendi durant 90 segons i fortes ràfegues de vent sense que es facin malbé ni es despreguin de l'aeronau. En alguns avions, aquests mateixos tobogans inflables són utilitzats com a bot salvavides, tal i com es veu en la imatge 13.2, concretament, en evacuacions que es produeixen quan l'aeronau es troba en el mar o envoltat d'aigua.



Imatge 13.2: Tobogans com a bot salvavides



## Secció 4: Estudi de l'aeronau, model Airbus A-380



## 14. L'Airbus A-380

L'A380 ofereix a les companyies aèries les millors oportunitats per optimitzar els ingressos mitjançant les seves xarxes, amb més seients per al creixement, el tràfic de connexió i un major rendiment, oferint més capacitat als passatgers per volar on i quan vulguin.



Imatge 14.1: Airbus A380

### 14.1 La cabina

L'Airbus A380 disposa d'unes característiques úniques comparades amb la resta d'aeronaus: ofereix una cabina molt més silenciosa, els seients són més amples i permet generar més ingressos gràcies al major nombre de passatgers. Aquest avió proporciona una comoditat molt alta incomparable amb qualsevol altre avió de passatgers.

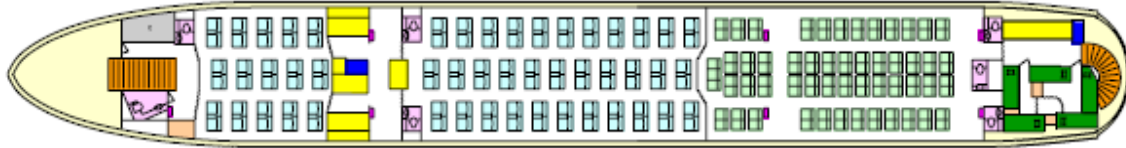
L'A380 està estructurat en dos pisos, la coberta principal actualment és la més àmplia en les aeronaus de passatgers, la qual permet disposar de seients i passadissos més amples, accessos a serveis addicionals, com ara centres comercials, bars i àrees socials. Pel que fa a la coberta de baix, està destinada a una classe social més econòmica, en la qual no s'ofereixen tants serveis exclusius però es mantenen les característiques principals, seients i passadissos amples, amb la millor comoditat per als passatgers.



El confort general dels passatgers es veu reforçat per una sèrie de tecnologies addicionals que equipen l'aeronau, incloent sistemes avançats d'il·luminació i nous estàndards d'entreteniment a bord. L'aire de l'habitacle es recicla cada tres minuts per mantenir l'ambient fresc, mentre que la llum natural és proporcionada per 220 finestres de la cabina.

A continuació es mostra l'estructura interna que componen les cabines de l'aeronau:

### Coberta superior



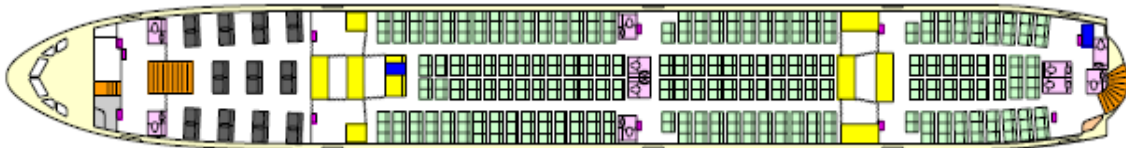
#### UPPER DECK

##### PASSENGER SEATS UPPER DECK (199 TOTAL)

- BUSINESS CLASS 96 SEATS
- TOURIST CLASS 103 SEATS
- ATTENDANT SEATS 8
- COAT STOWAGE 6
- GALLEYS 8
- LAVATORIES 7
- STOWAGES 1
- LIFT 2
- STAIRS 2
- CREW REST BUNKS 5

Imatge 14.2: Coberta superior de l'avió A-380

### Coberta principal



#### MAIN DECK

##### PASSENGER SEATS MAIN DECK (356 TOTAL)

- FIRST CLASS 22 SEATS
- TOURIST CLASS 334 SEATS
- ATTENDANT SEATS 12
- COAT STOWAGE 1
- GALLEYS 9
- LAVATORIES 10
- STOWAGES 1
- LIFT 2
- STAIRS 2

Imatge 14.3: Coberta principal de l'avió A-380

## 14.2 Característiques tècniques de l'aeronau

Més ecològic, silenciós i eficient, l'A380 fixa nous punts de referència per a la indústria de l'aviació mundial, amb la seva superior eficiència, rendibilitat i eficàcia operativa.

No només està fixant nous estàndards de comoditat per als passatgers, l'A380 també es vol augmentar el nivell de les normes ambientals, amb el seu baix consum de combustible i els nivells de soroll, així com reduir les emissions de CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>.

Les següents taules mostren les característiques tècniques principals de l'Airbus A380, de les quals cal remarcar que és l'aeronau comercial més gran del món que hi ha avui dia, amb una capacitat màxima per a 853 passatgers.

Dimensions		
Longitud total		72,72 m
Longitud de cabina	Coberta principal	49,90 m
	Coberta superior	44,93 m
Amplada del fuselatge		7,14 m
Amplada màx de la cabina	Coberta principal	6,54 m
	Coberta superior	5,80 m
Envergadura (geomètrica)		79,75 m
Alçada		24,09 m
Pista		14,34 m
Distància entre eixos		31,88 m

Taula 14.1: Dimensions de l'aeronau A-380

Capacitat		
Passatgers	Nombre típic	525 (3 - Classes)
	Màxim	853
Càrrega	LD3 Capacitat	38 LD3
	Capacitat màx de palets	13
	Volum bodega de càrrega	14,3 m³
	Volum Total	184 m³ (Container + granel)

Taula 14.2: Capacitat de l'aeronau A-380

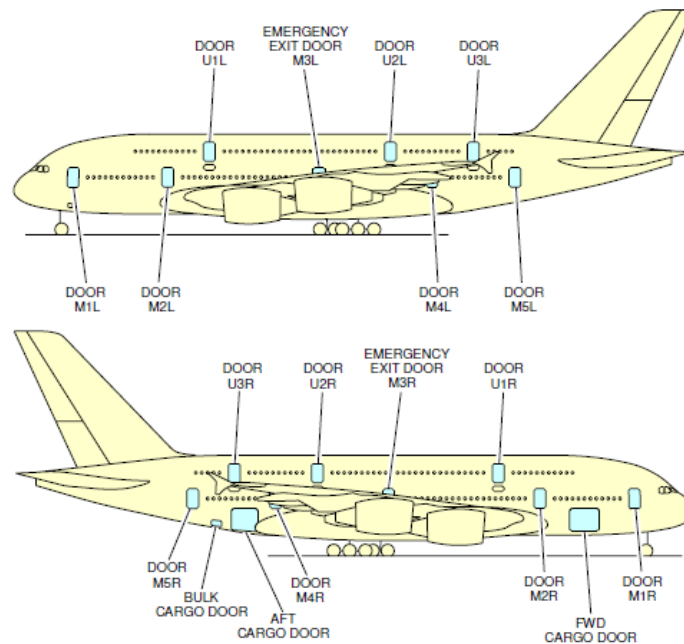
#### Key figures



Imatge14.4: Imatges de l'aeronau A-380

### 14.3 Ubicació de les entrades i sortides

Si s'analitza detalladament l'estructura de l'aeronau, es pot veure que aquesta disposa de 16 entrades o sortides, les quals estan repartides 8 per a cada banda de l'avió. Tal i com mostra la imatge següent, les portes estan classificades per intermèdies (MnL) i superiors (UnL) a cada banda de l'aeronau. L'A380 disposa de 5 portes, tant d'entrada com de sortida, a la banda esquerra de la coberta principal (MnL) i 4 portes més a la coberta superior (UnL). Pel que fa a la banda dreta de l'aeronau, es poden veure el mateix nombre de portes.



Imatge 14.5: Ubicació de les sortides d'emergència en un A-380

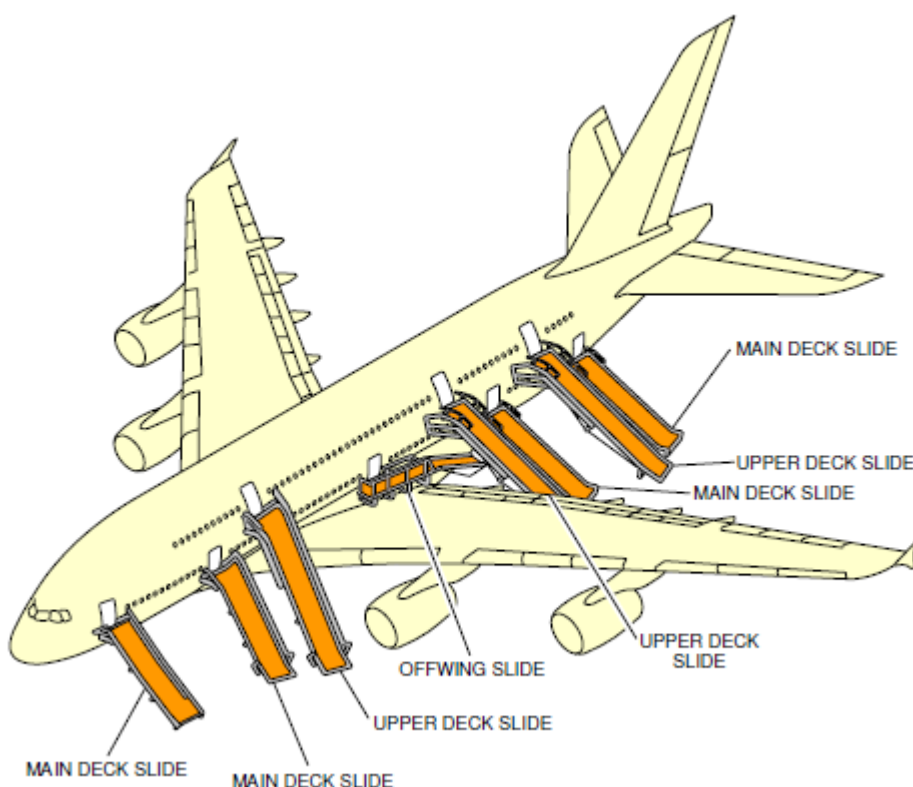


#### 14.4 Les sortides d'emergència

És molt important tenir en compte totes les portes, d'entrada o sortida de l'avió, ja que en cas d'accident, aquestes portes es converteixen en sortides d'emergència per a l'evacuació de l'aeronau.

D'aquesta manera, com ja s'ha vist en l'apartat anterior, l'Airbus A380 disposa de 16 sortides d'emergència en total. D'aquestes sortides, 10 es troben a la coberta principal, 5 per a cada banda de l'aeronau i les 6 restants, estan ubicades a la coberta superior, 3 per a cada banda.

La Següent imatge mostra com estan distribuïdes les sortides d'emergència en un A380 i quin és el sistema utilitzat per a l'evacuació d'emergència, en aquest cas, són tobogans inflables que permeten evacuar a tots els passatgers de l'aeronau. Cada una de les portes està equipada amb un sistema d'emergència, que a l'obrir-les en cas d'accident, es desplegarien uns tobogans inflables per als quals podrien lliscar els passatgers i evacuar-los a l'exterior. Les característiques d'aquests tobogans inflables seran explicades detalladament en l'apartat següent.



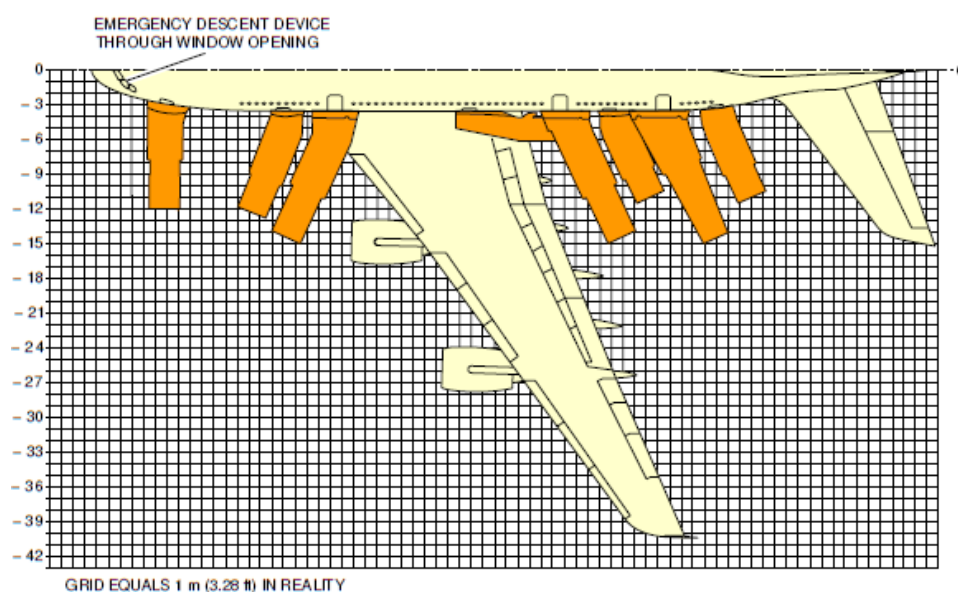
Imatge 14.6: Ubicació del tobogans d'emergència en un A-380

### 14.5 Els Tobogans Inflables d'emergència

Per evacuar una aeronau de la millor manera, és necessari la utilització d'un sistema que permeti evacuar a tots els passatgers de la manera més ràpida, còmoda i factible per tal de preservar la vida de les persones que viatgen a bord de l'avió.

S'ha estudiat que el temps és un factor molt important en l'evacuació d'emergència, ja que com més temps passa, més disminueix la possibilitat de supervivència. D'aquesta manera, la tècnica utilitzada són rampes o tobogans inflables que permeten l'evacuació de les persones de manera molt ràpida. S'ha estudiat també, que les rampes és un mitjà d'evacuació molt més ràpid que les escales o altres sistemes. A més, la seva ràpida instal·lació a l'hora d'obrir les portes beneficia molt l'èxit evacuació i la supervivència de les persones.

També cal tenir en compte, que les portes dels avions estan ubicades a una certa altura del terra, fet que fa impossible evacuar als passatgers sense cap mitjà, com ara escales o rampes. Aquests tobogans inflables, també ofereixen avantatges respecte a altres sistemes o tècniques, i es que es poden instal·lar en qualsevol superfície, ja sigui en el terra, en l'aigua o en terrenys abruptes que no permetrien la instal·lació d'altres sistemes.



Imatge 14.7: Direcció dels tobogans d'emergència en un A-380

En aquesta imatge (Imatge14.9), es pot veure quina és el disseny i ubicació dels tobogans inflables en un A380. Les portes situades a la part davantera de l'avió tenen l'evacuació per davant de l'ala. La resta de portes, tant les que es troben a la part central de l'aeronau com les situades a la part posterior, l'evacuació es realitza per darrere l'ala. Aquestes característiques s'han de tenir molt en compte, ja que en alguns casos excepcionals s'hauran d'analitzar les estratègies i decidir si s'evacua per davant de l'ala o per darrere, depenent de quina sigui la situació.

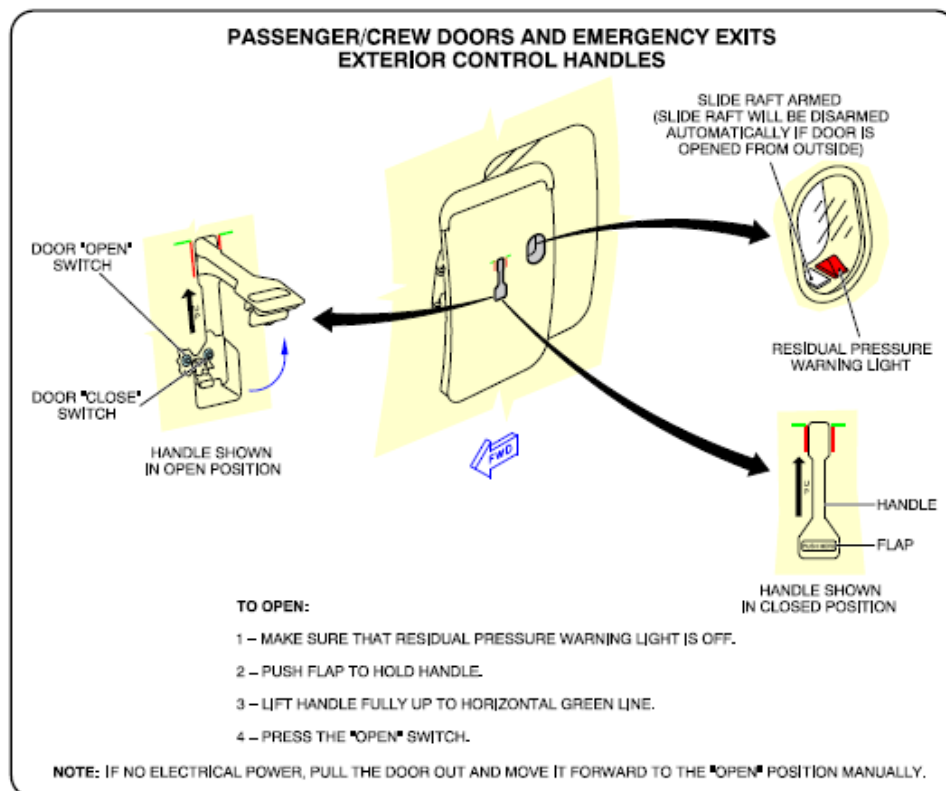
Escollir una bona estratègia permetrà evacuar tots els passatgers de la millor manera, la més ràpida i la més factible, fet que fa indispensable estudiar prèviament totes les alternatives i situacions en que es pot trobar l'aeronau en cas d'emergència o accident.

## 14.6 Les portes d'emergència

Un altre factor molt important en les evacuacions d'emergència són les portes, ja que són el mitjà que permeten abandonar l'aeronau en cas que sigui necessari. El sistema utilitzat per obrir les portes ha de ser molt senzill i pràctic, ja que es produirà en un moment d'emergència i màxim estrès, fet que podria propiciar a enrederir l'evacuació.

A continuació, es mostra una imatge (Imatge 14.10) on es veu detalladament quin és el sistema de les portes que utilitzen els A380 i com s'han d'utilitzar. Un cop oberta la porta, el sistema activa un sensor que ordena la instal·lació automàtica de les rampes d'emergència o tobogans inflables. És aleshores, quan els passatger poden començar a evacuar l'avió de forma ordenada i segura.

Cal remarcar també, que les portes només les podran obrir membres de la tripulació i sempre que sigui convenient, ja que seria molt perillós que no hi hagués cap control d'aquestes mesures. Aquests fets estan estipulats en els protocols d'evacuació d'emergència que s'han vist en la secció 3.



Imatge 14.8: Sortida d'emergència en un A-380

## Secció 5: Creació del model en Simio



## 15. Creació del model de simulació A380

### 15.1 Introducció

Com ja s'ha explicat en alguns dels apartats anteriors, la simulació és una eina molt important en aquest àmbit, ja que permet simular una situació real mitjançant només la utilització d'un programa d'ordinador. El beneficis que s'aconsegueixen amb aquestes tècniques són una disminució molt important dels recursos i els costos de la simulació, també es redueix molt el temps de realització. Aquesta eina permet obtenir uns millors resultats, i posteriorment, millorar-los fins a obtenir l'objectiu desitjat. També permet estudiar les diferents alternatives possibles que es plantegen en el problema, analitzar les diverses situacions de risc, etc.

Avui dia, la simulació és una eina molt utilitzada en molts àmbits i en aquest apartat del projecte, es vol crear un model de simulació per a l'evacuació d'emergència d'una aeronau, en concret, l'Airbus 380. El model utilitzat per crear aquesta simulació utilitza les característiques principals i més importants de l'A380, les quals s'han vist detalladament en l'apartat 4 del projecte. A continuació, es detallaran totes les parts que componen la simulació i els processos que han estat utilitzats per crear-la.

L'evacuació de l'Airbus 380 compta amb una estratègia d'emergència perquè les més de 500 persones abandonin l'aeronau el més ràpid possible. L'avió disposa de 16 sortides d'emergència, 6 de les quals es troben a la planta superior (coberta superior) i 10 a la planta inferior (coberta principal). El fabricant ha dissenyat 2 rutes independents d'evacuació, una per a cada una de les cobertes, evitant així l'ús de les escales internes.

Per alguns experts, aquesta evacuació independent no és possible realitzar-la degut a que no es té en compte la por que provoca a un passatger llançar-se a través de les rampes d'emergència o tobogans quan l'altura és molt elevada. I és que els tobogans de la coberta superior tenen una altura superior als 20 m. És per aquest motiu, que l'estratègia d'evacuació més eficient seria aquella que combini l'evacuació entre les dues plantes.

En aquest projecte, la simulació que es realitza per evacuar una aeronau d'aquestes característiques es basa amb una estratègia de dues rutes independents, cada una de les quals evacua una planta de l'aeronau. El motiu d'aquest fet és que apareix una gran complexitat a l'hora de combinar les dues plantes, tampoc es pot determinar un factor que demostrï el grau de por que pot tenir un passatger en el moment de llançar-se pel tobogan des de la coberta

superior. Tenint en compte tots aquests factors, el projecte busca obtenir una estratègia d'evacuació eficient combinant el major nombre d'escenaris possibles.

## 15.2 El model exemple de la simulació

La simulació d'esdeveniments mitjançant el programa "Simio" pot presentar-se molt complexa, ja que requereix el coneixement d'una sèrie de factors claus per al correcte desenvolupament del model. Per iniciar una simulació d'evacuació d'aquestes característiques i d'una certa complexitat, és essencial començar per la creació d'un model més petit.

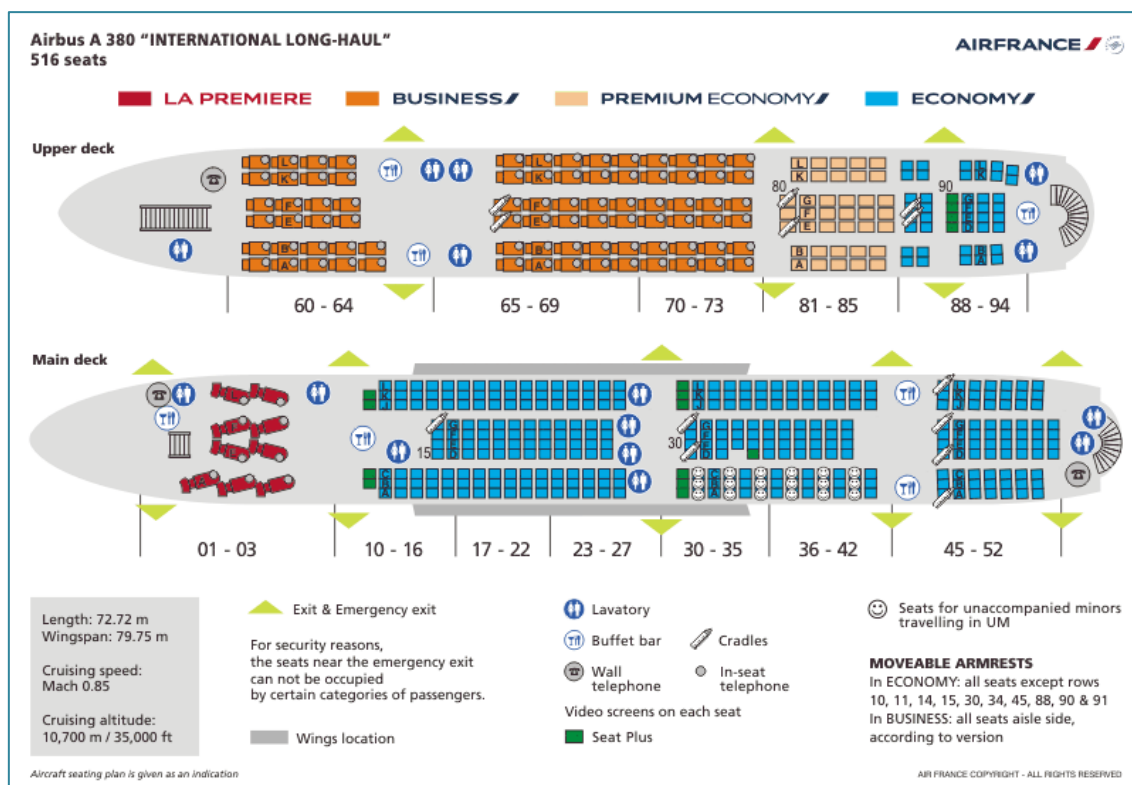
El model inicial, anomenat "[Model\\_Exemple\\_Simulació\\_Evacuació](#)", va ser creat per desenvolupar una simulació a petita escala, d'aquesta manera, es va poder posar en pràctica tots els processos que s'havien de realitzar per configurar la simulació final. Gràcies al model inicial, es van poder provar noves configuracions i millores que posteriorment van ser introduïdes en el model final. Un cop finalitzat aquest model, es va procedir a aplicar totes les configuracions en un model basat en una aeronau A-380.

Seguidament, el projecte detalla com es va construir el model final, anomenat "[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380](#)", quines configuracions van ser utilitzades i quina és la seva finalitat.

## 15.3 El model de simulació

Les característiques més destacades per a la creació del model, "[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380](#)", estan basades en una aeronau real, la qual ha estat escollida com ha model d'exemple. L'aeronau que s'ha escollit és un A380 de la companyia *AirFrance*. No hi ha cap motiu en especial per la presa d'aquesta decisió, sinó que ha estat més per mostrar un cas real i que opera actualment en les companyies aèries. A continuació, es pot veure una imatge (Imatge 15.1) on es mostren les característiques principals d'aquesta aeronau, la qual s'ha escollit com ha exemple per crear un nou model.



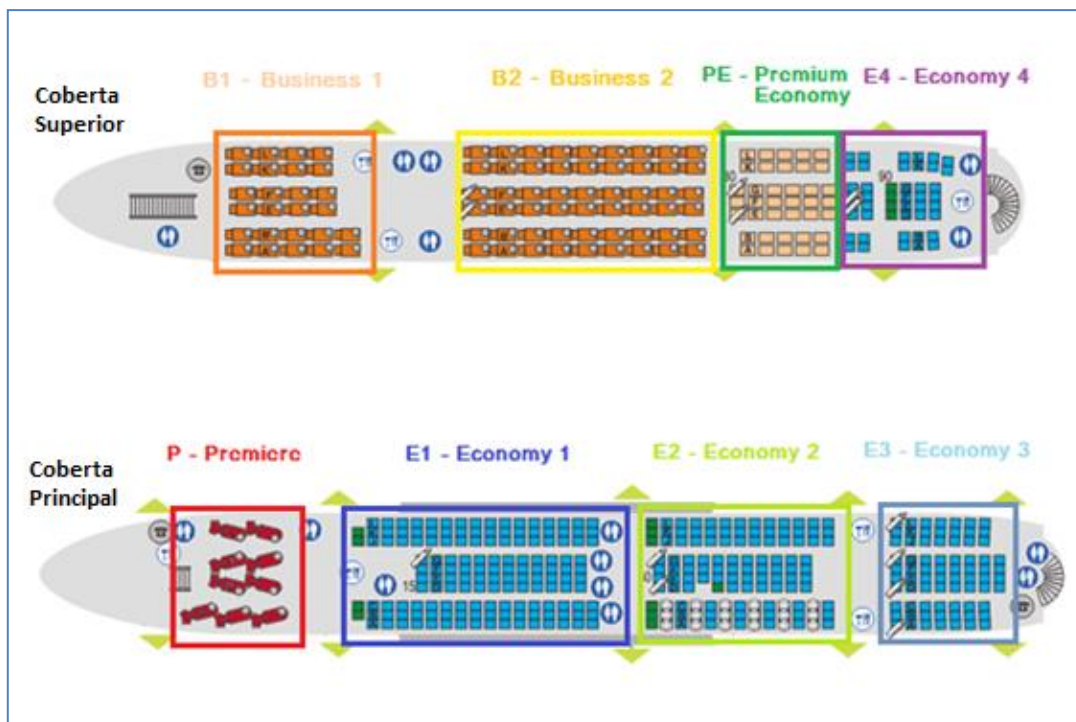


Imatge15.1: Distribució de l'aeronau A-380 (AirFrance)

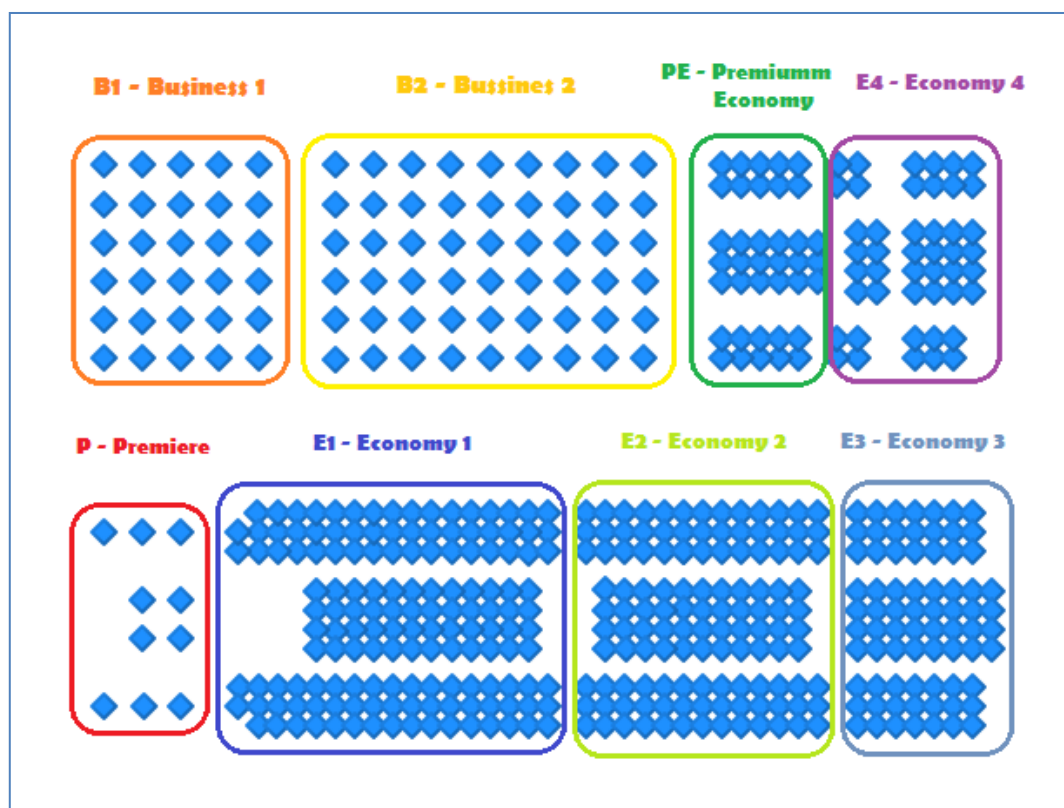
Cal remarcar quines són aquetes característiques que, posteriorment, s'han utilitzat en el model de simulació:

- **Coberta Principal:** 354 seients distribuïts en diferents espais, 5 sortides d'emergència a la part dreta de l'aeronau i 5 més a l'esquerra, 10 rampes d'emergència localitzades en cada porta, el disseny i distribució de la coberta, la localització de les sortides d'emergència, etc.
- **Coberta Superior:** 168 seients distribuïts en diferents espais, 3 sortides d'emergència a la part dreta de l'aeronau i 3 més a l'esquerra, 6 rampes d'emergència localitzades en cada porta, el disseny i distribució de la coberta, la localització de les sortides d'emergència, etc.

Seguidament, en la Imatge 15.2, es pot comprovar quin ha estat el disseny i distribució utilitzat per a la creació del model en el qual es vol simular l'evacuació d'emergència. Cal remarcar també, que el model creat pot tenir alguns canvis d'estructura i distribució respecte al model real de l'aeronau, d'aquesta manera, s'aconsegueix adaptar el model a una simulació més real.



Imatge 15.2: Distribució dels seients de l'Airbus 380



Imatge 15.3: Distribució del model A-380

Tal i com es pot veure en aquesta imatge (Imatge 15.2), el model està dissenyat i estructurat en diferents espais:

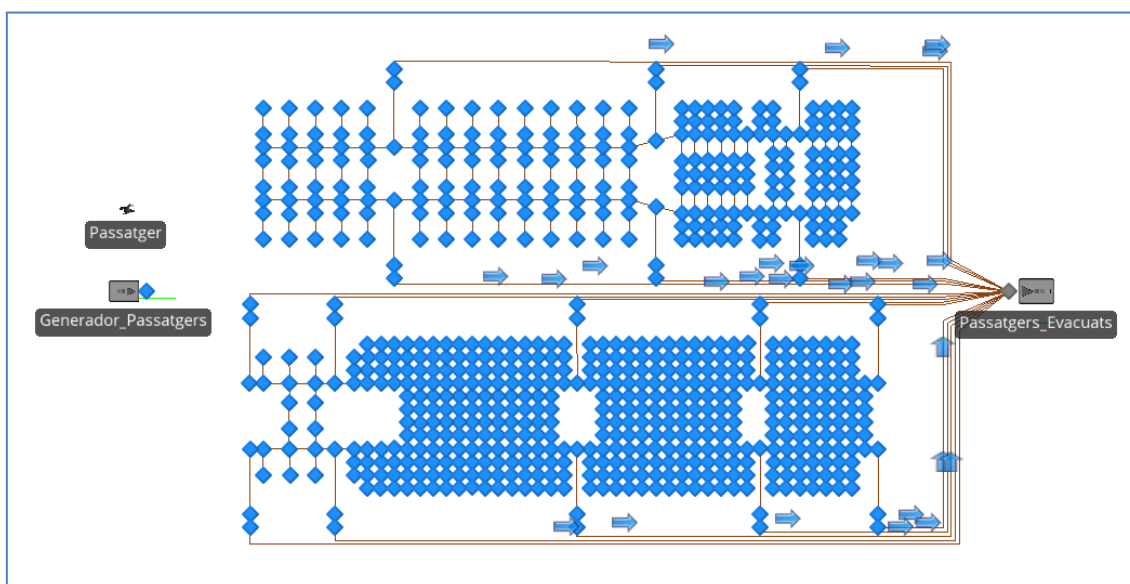
- **Coberta Principal:**

- **P** → Passatgers de classe “Premiere” (10 seients).
- **E0** → Passatgers de classe “Seat Plus” (4 seients).
- **E1** → Passatgers de classe “Economy 1” (144 seients).
- **E2** → Passatgers de classe “Economy2” (122seients).
- **E3** → Passatgers de classe “Economy 3” (74 seients).

- **Coberta Superior:**

- **B1** → Passatgers de classe “Business 1” (30 seients).
- **B2** → Passatgers de classe “Business 2” (54 seients).
- **PE** → Passatgers de classe “PremiumEconomy” (38 seients).
- **E4** → Passatgers de classe “Economy 4” (46 seients).

El model desenvolupat, disposa de 10 sortides d'emergència a la coberta principal, les quals estan ubicades 5 a cada banda de l'aeronau. Pel que fa a la coberta superior, hi ha 6 sortides més, ubicades 3 a cada banda de la cabina, tal i com es mostra en la imatge anterior (Imatge 15.2 ).



Imatge 15.4: Model de simulació A-380

## 15.4 Les entitats del model

Les entitats es defineixen com a organismes compostos per diversos membres, en aquest cas, passatgers que desenvolupen una certa funció. En el model, les entitats representen i mostren gràficament l'evacuació d'emergència que realitzarien els passatgers en cas que s'hagués de dur a terme.

Aquestes entitats (passatgers), recorren el sistema pels passadissos amb la finalitat d'abandonar l'aeronau el més ràpid possible. Per apreciar aquests fets, el programa *Simio* assigna una figura de persona a cada passatger per mostrar gràficament i visualment quins són els seus moviments en la simulació.

Cal destacar que, en una aeronau hi ha diferents tipus de passatgers que viatgen d'un lloc a un altre, com ja s'ha mencionat en alguns apartats anteriors, aquest aspecte és molt important a tenir en compte per crear un model de simulació el més aproximat possible a la realitat, i que els resultats que se'n obtinguin siguin el més fiable possible. A continuació, en la Taula 15.1, es mostra detalladament els tipus de passatgers:

Tipus Passatgers	Dades
1	Nen (< 13 anys)
2	Adult Home (13 - 60 anys)
3	Adult Dona (13 - 60 anys)
4	Home gran (> 60 anys)
5	Dona gran (> 60 anys)
6	PMR (Persona amb Movilitat Reduïda)

Taula 15.1: Tipus de passatgers

El model realitzat diferencia els tipus de passatgers, tal i com s'observa en la imatge 15.28, però el seu temps no es basa en funció de les seves característiques físiques. Per poder configurar les entitats i simular la duració de cada acció dels passatgers, s'ha definit un temps aleatori que assigna el programa a cada entitat del model. D'aquesta manera, es pot realitzar diferents simulacions i en cada cas, les entitats actuaran de forma diferent i de manera aleatòria.

## 15.5 Estimació dels temps

La simulació d'un model d'evacuació requereix uns temps estimats per definir detalladament els moviments que realitzen els passatgers a l'hora d'abandonar l'aeronau. Per aconseguir una bona estimació, és necessari obtenir uns temps el més aproximat possible a la realitat, és a dir, definir unes dades empíriques reals obtingudes a partir de simulacres d'evacuació. Degut a la dificultat per obtenir aquestes dades, el projecte es basa en una estimació aproximada dels temps de manera subjectiva, els quals es detallen a continuació (Taula 15.2).

Les dades utilitzades en el model creat estan introduïdes per mitjà d'interval de confiança, els quals permeten analitzar els experiments. Amb aquests intervals s'obtenen resultats en el millor dels casos, en un cas intermedi i en el pitjor dels casos.

Els diferents resultats obtinguts permeten determinar uns valors entre els quals es trobarà la millor solució per al sistema creat, és a dir, s'obté el temps total d'evacuació en cada un dels casos plantejats.

Un interval de confiança és un interval de valors al voltant d'un paràmetre mostral en els quals, amb una probabilitat o nivell de confiança determinat, mostra el paràmetre a estimar. Una estimació per intervals ofereix informació sobre l'exactitud de l'estimació (la diferència entre el valor real i l'estimat). Aquest tipus d'estimació proporciona un interval dins del qual hi ha una alta probabilitat (nivell de confiança) de que contingui el valor verdader del paràmetre.

Notació	Definició	Casos
$T_{\min}$	Temps mínim	En el millor dels casos
$T_{\text{mig}}$	Temps mig	Cas intermig
$T_{\max}$	Temps màxim	En el pitjor dels casos

Taula 15.2: Intervals de confiança

En aquest cas, el model A380 està configurat perquè cada entitat tingui una duració diferent en cada simulació, d'aquesta manera, els resultats obtinguts variaran i es podran extreure majors conclusions.

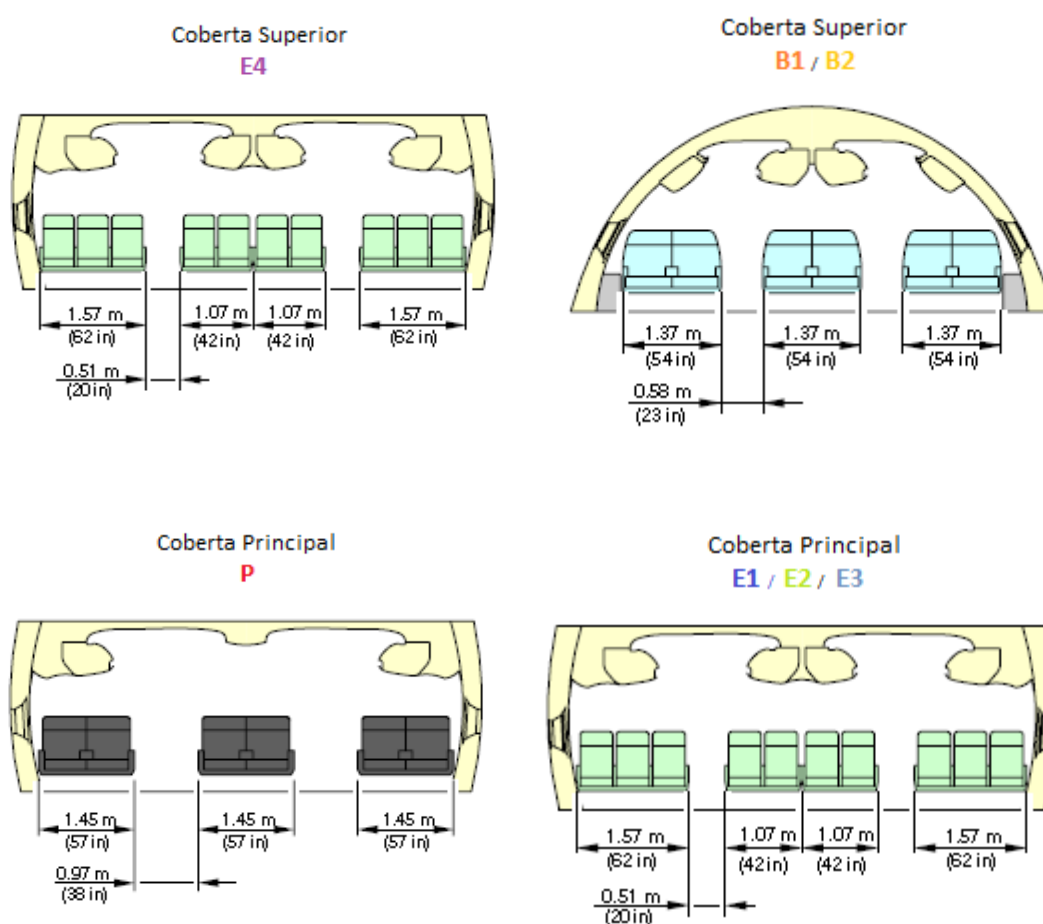
Les accions que realitza el passatger a l'hora d'evacuar l'aeronau són: descordar-se el cinturó, aixecar-se del seient, desplaçar-se, saltar per la rampa i lliscar per ella. Aquestes accions estan assignades a la Taula, tal i com s'observa en la imatge 15.27 i tenen un temps de duració aleatori.

Per poder definir això en el model, els valors de cada acció estan definits com a expressions, en la qual se'ls hi assigna un interval de temps aleatori, com per exemple: "Random.Uniform (2,4)". Tal i com es pot veure en la imatge 15.27, això significa, que l'entitat ubicada en aquest seient tardarà un temps aleatori entre 2 i 4 segons en aixecar-se, i així per cadascuna de les accions i entitats del sistema.

## 15.6 Mides i distàncies del model

Per poder realitzar una simulació que s'aproximi el màxim possible a la realitat, és necessari descriure el model segons les seves característiques reals. És per aquesta raó, que s'ha volgut crear un model basat en un avió real, en concret, un A380 d'AirFrance.

El model ha realitzar es basa en mides reals, extretes dels manuals de disseny d'Airbus. A continuació, es pot veure en la imatge 15.5, com s'han extret aquestes dades i s'han introduït en el model de simulació:

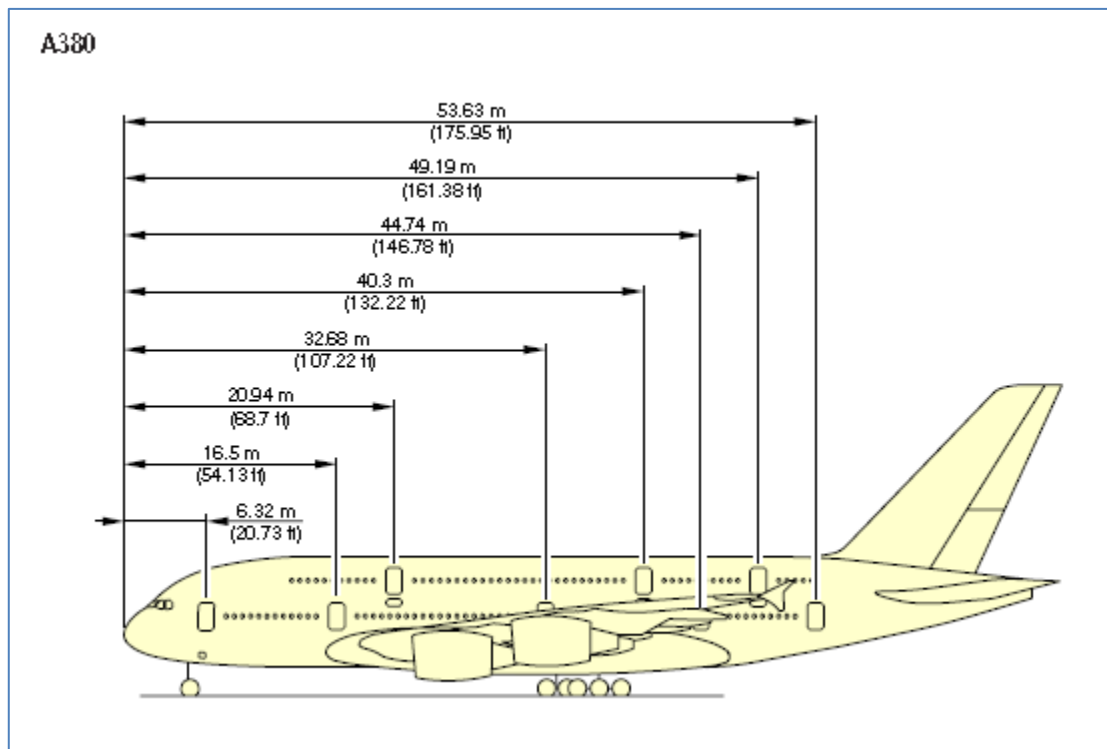


Imatge 15.5: Mides dels seients i passadissos de l'A380

En la imatge anterior (Imatge 15.5), es pot veure quin és el disseny que s'utilitza en aquest tipus d'aeronau. Les mides que es mostren en ella han sigut utilitzades per distribuir els seients a les cabines de l'avió i crear el recorregut que han de realitzar els passatgers a l'hora de

desplaçar-se fins a les sortides d'emergència. Fent referència a això últim, s'han utilitzat els *Paths* com a camí per on moure's les entitats (passatgers).

Seguidament, també es mostra una imatge de l'aeronau (Imatge 15.6), a partir de la qual s'ha pogut determinar les distàncies dels passadissos interiors que permeten als passatgers desplaçar-se i moure's per l'interior de les cabines.



Imatge 15.6: Distàncies de les portes amb el morro davant de l'A380

La imatge que ve a continuació (Imatge 15.7), mostra les mides del projecte de simulació creat. Cal remarcar que les dades han sigut introduïdes de la següent manera:

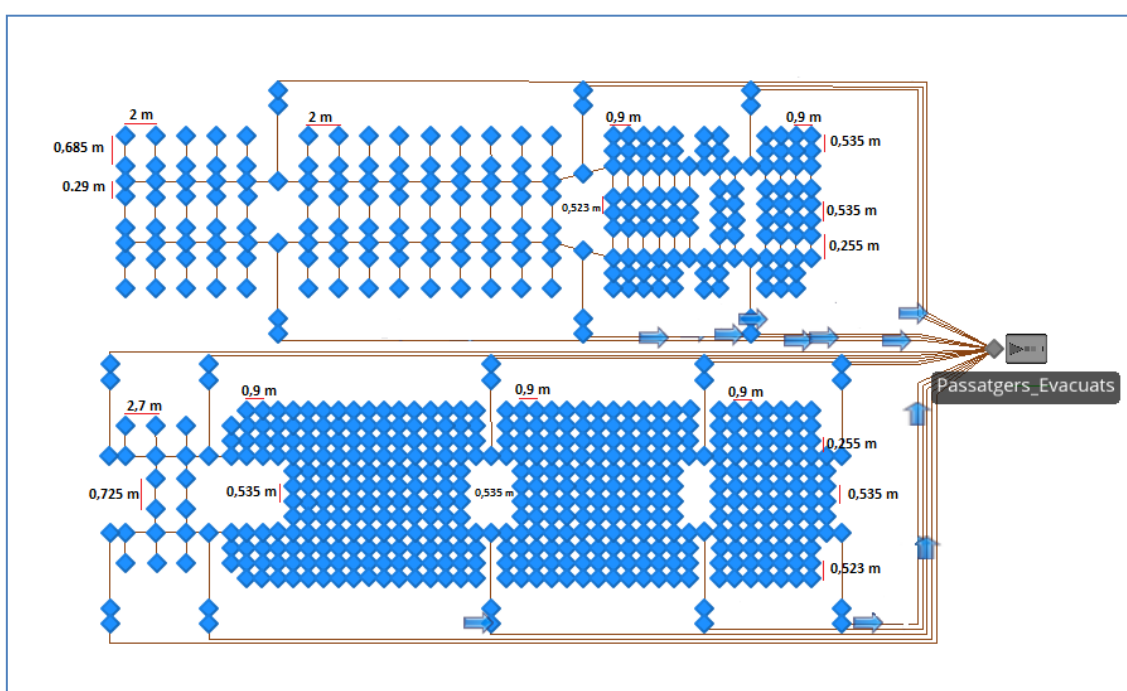
- Les distàncies entre els seients són la mateixa mida que el seient.
- Les mides dels *Path* no són les distàncies reals que marca el disseny, sinó que s'ha realitzat una aproximació del recorregut que realitza un passatger.
- El recorregut entre el seient i el *TransferNode*, localitzat al centre del passadís, serà la meitat de la distància que hi ha de passadís.



Entenent així, que el passatger no realitzarà tota l'amplada del passadís, sinó que s'ubicarà al centre per poder desplaçar-se per ell.

- La llargada del passadís s'ha calculat a partir de la Imatge 15.6, on s'ha fet una aproximació de les distàncies que hi ha entre les portes.

Gràcies a això, també s'ha pogut saber les mides de cada *Path* que formen el passadís. El mètode utilitzat per a calcular-ho, ha sigut dividir la distància entre les portes i el nombre de *path* que hi ha a cada passadís.



Imatge 15.7: Mides dels *Path* del model

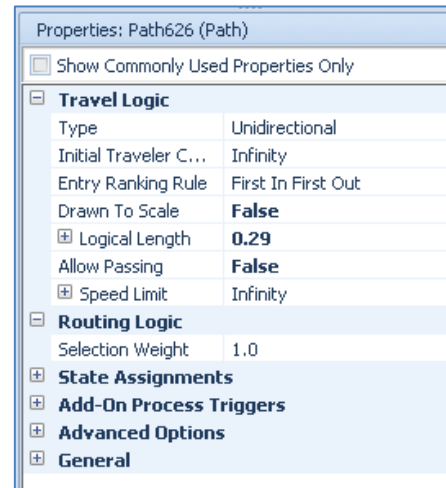
Ubicació model	Mida <i>Path</i> entre seients	Amplada <i>Path</i> passadís	Llargada <i>Path</i> passadís
B1	0,685 m	0,29 m	2 m
B2	0,685 m	0,29 m	2 m
PE	0,523 m	0,255 m	0,9 m
E4	0,535 m	0,255 m	0,9 m
P	0,725 m	0,485 m	2,7 m
E1	0,255 m	0,523 m / 0,535 m	0,9 m
E2	0,255 m	0,523 m / 0,535 m	0,9 m
E3	0,255 m	0,523 m / 0,535 m	0,9 m

Taula 15.3: Distàncies del model A380

Seguint amb aquest tema, més endavant es detalla com han estat configurats els *Paths* per poder desenvolupar un model que permeti assolir els objectius plantejats.

Per començar, els *Paths* configuren la major part del model i són el camí que segueixen les entitats per moure's fins a la sortida (*Sink*). La configuració que segueixen són la següent:

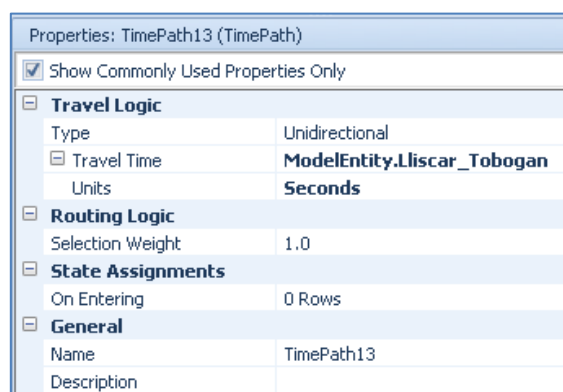
- Les mides del camí (*Path*), tal i com es mostra en la imatge 15.8, són introduïdes en el *Drawn To Scale*, i el seu valor en metres al *LogicalLength*.
- L'enllaç d'*AllowPassing* s'ha de canviar a "*False*", d'aquesta manera el model forçarà a les entitats a esperar si el camí (*Path*) està ocupat.



Imatge 15.8: *Path* del model A380

D'altra banda, en alguns casos s'han utilitzat els *TimePath*. Aquests camins són un enllaç amb un temps de transport fixe per a totes les entitats.

En el model, aquestes eines han estat introduïts per representar el temps que tarda un passatger en lliscar pel tobogan d'emergència a l'hora d'evacuar una aeronau. Per poder definir millor aquest recorregut, s'ha utilitzat un valor aleatori, ja que tots els passatgers no descendeixen de la mateixa manera i pot veure's afectat per les seves característiques corporals (més pes significa menor temps.).



Imatge 15.9: *TimePath* dels tobogans d'emergència del model A380

## 15.7 Característiques i processos del model

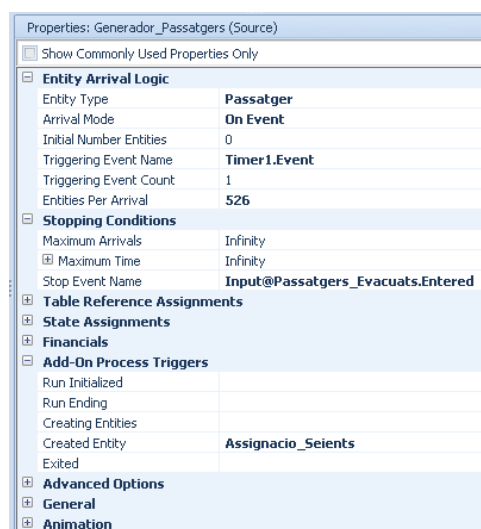
El model que es vol simular és realitzat amb el programa “*Simio Simulation*”. Aquest programa permet fer un model molt aproximat a la realitat, que posteriorment, servirà per analitzar les dades i extreure’n conclusions sobre les estratègies utilitzades per a l’evacuació més eficient. Per començar a crear el model, s’ha d’introduir un *Source* i un *Sink*, on es crearan i destruïran les entitats, respectivament.

Seguidament, es començarà a dibuixar el disseny de l’aeronau. Per poder crear el model, serà necessari utilitzar els *TransferNodes*, els quals simbolitzen els seients, i els *Path*, que defineixen el camí que seguiran les entitats per recórrer en el model, tal i com es pot veure en la imatge 15.4. Una vegada dissenyat tot el sistema, s’han de canviar algunes de les característiques de cada objecte (*Source*, *TransferNode*, *Path*) per poder dissenyar un model segons les funcions que es volen aconseguir. A continuació, s’esmenten alguns d’aquest canvis i que permeten millorar el model segons la seva finalitat.

### 15.7.1 El *Source*

El *Source* és l’encarregat de crear les entitats que arriben al sistema, és a dir, crea els passatgers de l’avió i els ubica en cada seient representat en el model (*TransferNode*). Per poder realitzar tot això, és necessari crear uns processos, els quals s’explicaran més endavant a l’apartat 15.7.3.

- Per modificar el *Source*, tal i com es pot veure en la imatge 15.10, es canvia l’*EntityType*, on es definix el *ModelEntity* introduït.
- L’*ArrivalMode* permetrà ubicar cada entitat en el seu *TransferNode* (seient) corresponent.
- L’*EntitiesPerArrival*, és el nombre d’entitats que es crearan al sistema, és a dir, els 526 passatgers de l’aeronau A380.
- La creació d’entitats en el sistema finalitzarà (*Stop EventName*) quan arribin al *Sink*.



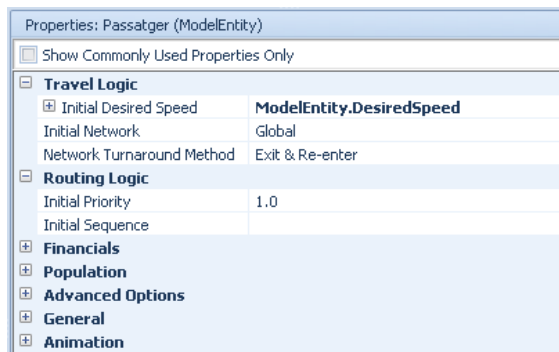
Imatge 15.10: Característiques del *Source*

- Es defineix el procés, *Assignació\_seients*, que permetrà assignar cada entitat en seu lloc corresponent, és a dir als *TransferNode* del sistema.

### 15.7.2 L'Entity / ModelEntity

L'Entity és un objecte dinàmic que pot ser creat i destruït, moure's pel sistema a través d'enllaços, com ara *Nodes*, *Path*, etc. En aquest model, com ja s'ha explicat en molts altres apartats, les entitats que es creen són passatgers que evacuen l'aeronau segons unes característiques i processos determinats.

- En el ModelEntity (Imatge 15.11), es necessari modificar l'Initial Desired Speed, això permetrà modificar les característiques dels passatgers per determinar la velocitat a la qual es desplaçaran pel sistema.



Imatge 15.11: Característiques del ModelEntity

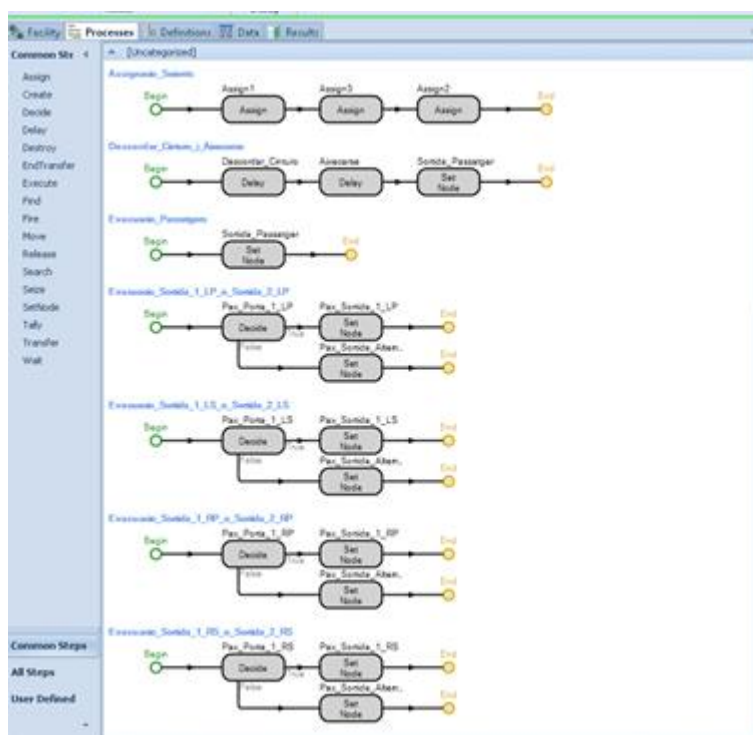
Pel que fa referència al ModelEntity del sistema, s'haurà de definir una sèrie d'estats que permetran crear els processos que modifiquin les característiques del model. Seguidament, en la imatge 15.12 es pot veure quines són aquestes entitats i del tipus de que són, com per exemple, els reals en els casos de *Descordar\_Cinturo*, *Aixecarse*, *Lliscar\_Tobogan*, etc.

Views	Name	Object Type	Display Name
	States (Inherited)		
	States		
	Picture	Real State Variable	Picture
	Animation	String State Variable	Animation
	Ubicacio	Node Reference State Variable	Ubicacio
	Tipus_Passatger	Integer State Variable	Tipus_Passatger
	ID_Passatger	Integer State Variable	ID_Passatger
	Descordar_Cinturo	Real State Variable	Descordar_Cinturo
	Aixecarse	Real State Variable	Aixecarse
	Saltar_Tobogan	Real State Variable	Saltar_Tobogan
	Lliscar_Tobogan	Real State Variable	Lliscar_Tobogan
	Velocitat_Passatger	Real State Variable	Velocitat_Passatger

Imatge 15.12: Estats definits en el ModelEntity

### 15.7.3 Els Processos

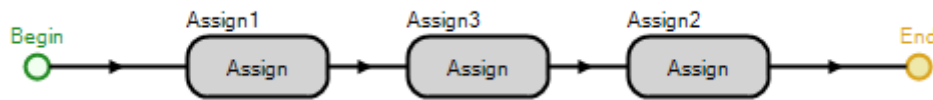
Els processos, com el seu nom indica, són processos que es defineixen en el model per modificar el sistema. Gràcies als processos, aquest sistema permet assignar cada entitat (passatgers) al seu *TransferNode* (seient) corresponent. També s'han utilitzat per definir la prioritat de les sortides que utilitzaran els passatgers per evacuar l'avió o assignar els temps (d'aixecar-se, desplaçar-se, lliscar pel tobogan,...) a cada entitat creada.



Imatge 15.13: Processos del model A-380

A continuació, s'explicaran tots els processos que s'han utilitzat per modificar el sistema segons els objectius marcats i segons les funcions que es volen aconseguir. Cadascun d'aquests processos s'han utilitzat per millorar el sistema i aconseguir així, uns resultats més exactes i reals que permetin saber les estratègies més eficients per evacuar una aeronau d'aquestes característiques.

#### Assignacio\_Seients



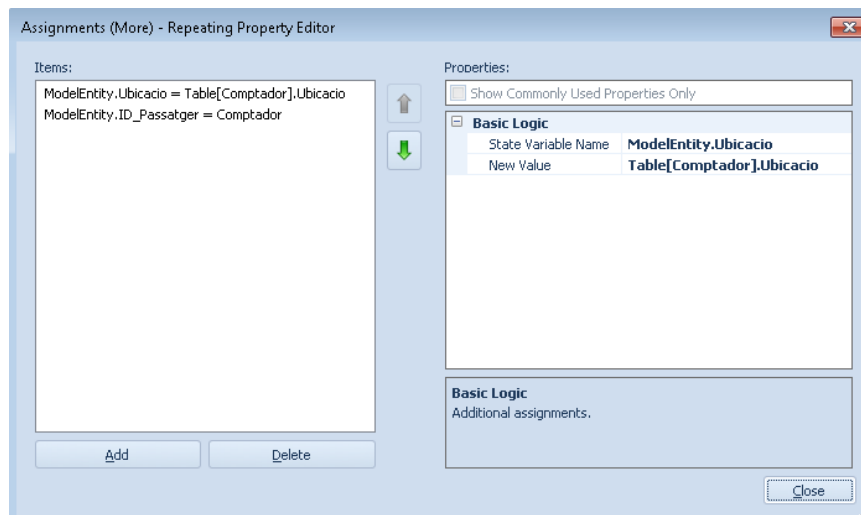
- El procés d'Assignació\_Seients (Imatge15.14), és un dels processos més complex i important del model, ja que permet configurar tots els processos anteriors dins del sistema.

Properties: Assign1 (Assign Step Instance)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
Basic Logic	
State Variable Name	ModelEntity.Tipus_Passatger
New Value	Table[Comptador].Tipus_Passatger
Assignments (More)	2 Rows
Advanced Options	
General	

Imatge 15.14: Procés "Assignació\_Seients"

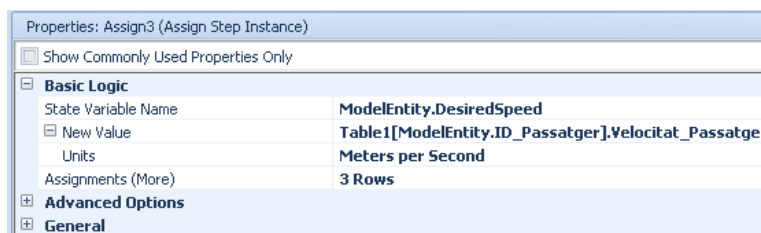
- El procés és definit en el *Source*, tal i com es mostra en la Imatge 15.10, dins de l'apartat *CreatedEntity*, el qual permet crear les entitats del model segons les característiques desitjades.

Els Row d'aquest procés, es defineixen en la Imatge següent (Imatge15.15), els quals s'encarreguen d'assignar una entitat a cada *TransferNode*. Tots els seients (*TransferNodes*) estan nomenats i definits a la Taula (Imatge 15.27) , en l'apartat "ubicació". A partir d'aquesta taula, el sistema permet ubicar una entitat a cada seient i assignar-li les característiques definides en els processos, *Aixecarse*, *Descordar\_Cinturo*, *Saltar\_Tobogan*, etc.



Imatge 15.15: Row del process "Assignacio\_Seients" (Assign 1)

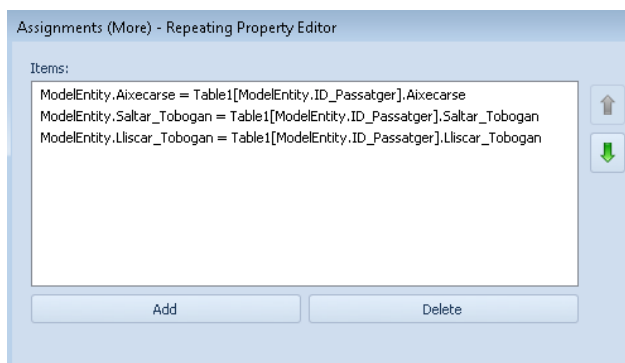
Aquest processos es poden veure a continuació en les següents imatges:



Imatge15.16: Assign 3

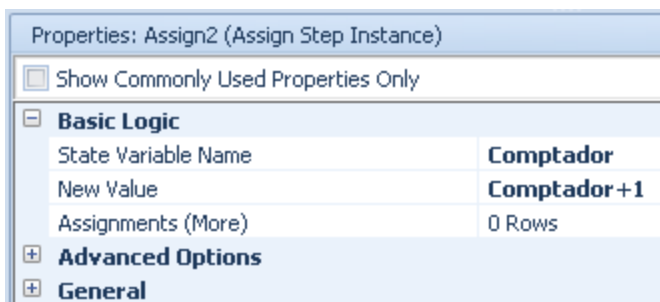
- En l'Assign 3 que es pot veure en la imatge 15.16, es defineix la velocitat de les entitats, *DesiredSpeed*.
- En aquets apartat, també s'enllaça la velocitat del passatger, la qual està definida a la Taula (Imatge 15.27), amb cada *ID\_Passatger*. D'aquesta manera, les entitats es desplaçaran (m/s) segons els valors que tinguin assignats.

- Els Row de l'Assign3 (Imatge 15.17), s'encarreguen d'enllaçar cada procés amb el seu temps definit a la Taula (Imatge 15.27).



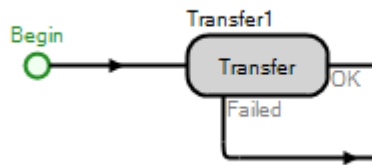
Imatge 15.17: Row del process "Assignacio\_Seients" (Assign 1)

- Pel que fa l'Assign 2 (Imatge 15.18), és un comptador que permet anar comptant i recorrent totes les entitats del sistema.



Imatge 15.18: Assign 2

#### Ubicacio\_Passatgers

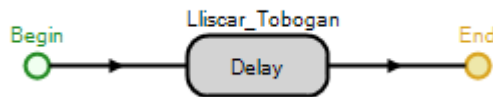


- La ubicació, mostrada en la Imatge 15.19, és l'encarregada d'assignar cada entitat de la Taula (Ubicació) al *TranseferNode* que li correspon.

Properties: Transfer1 (Transfer Step Instance)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
Basic Logic	
From	CurrentNode
To	Node
Node Name	ModelEntity.Ubicacio
Advanced Options	
General	

Imatge15.19: Procés "Ubicació\_Passatgers"

#### Lliscar\_Tobogan

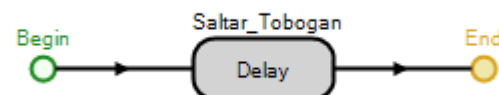


- Aquest procés (Imatge 15.20), s'encarrega d'assignar el temps, que tarda un passatger a lliscar pel tobogan d'emergència, a cada entitat.
- Les unitats de mesura es defineixen en segons de temps.

Properties: Lliscar_Tobogan (Delay Step Instance)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
Basic Logic	
Delay Time	ModelEntity.Lliscar_Tobogan
Units	Seconds
Advanced Options	
General	

Imatge 15.20: Procés "Lliscar\_Tobogan"

#### Saltar\_Tobogan



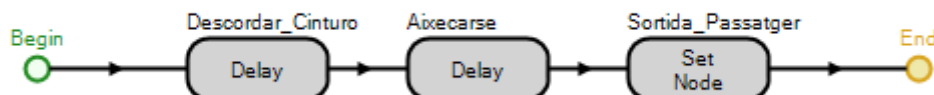
- En aquest cas (Imatge 15.21), s'assignen els temps que tardarà un passatger en saltar pel tobogan.
- Aquest procés també serà definit en segons de temps.

Properties: Saltar_Tobogan (Delay Step Instance)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
Basic Logic	
Delay Time	ModelEntity.Saltar_Tobogan
Units	Seconds
Advanced Options	
General	

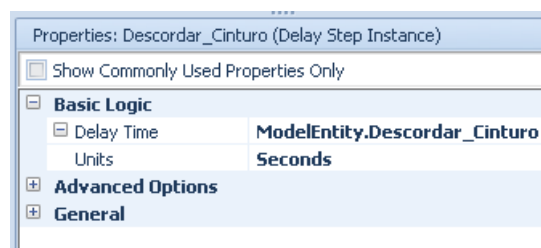
Imatge 15.21: Procés "Saltar\_Tobogan"



#### Descordar\_Cinturo\_i\_Aixecarse

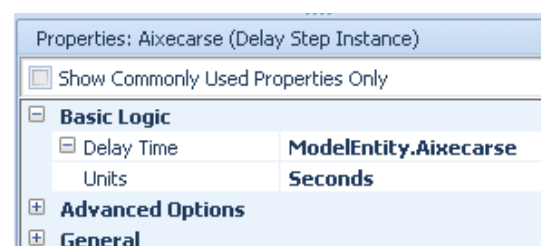


- En aquest procés (Imatge 15.22), s'especifica el temps (segons) de les entitats en descordar-se el cinturó.



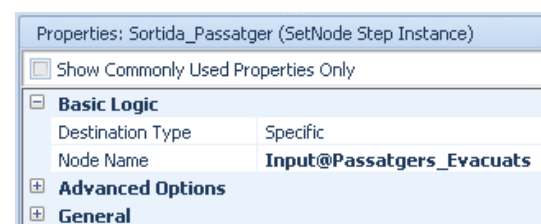
Imatge 15.22: Procés "Descordar\_Cinturo"

- En un altre cas, (Imatge 15.23), es defineix quin és el temps (segons) que tardaran els passatgers en aixecar-se del seus seients.



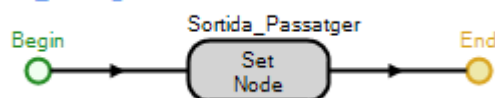
Imatge 15.23: Proceés "Aixecarse"

- Un cop realitzats els processos anteriors, tal i com es mostra en la Imatge 15.24, les entitats es desplaçaran pel sistema fins a arribar a la sortida de l'aeronau (Sink).

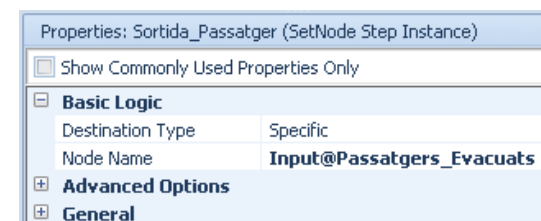


Imatge 15.24: Procés "Sortida\_Passatger"

#### Evacuacio\_Passatgers



- El procés evacuació s'encarrega de dirigir a totes les entitats a la sortida del sistema (Sink), d'aquesta manera, els passatgers estan programats per desplaçar-se fins a la sortida més propera.



Imatge 15.25: Procés "Evacuacio\_Passatgers"

### 15.1.1 El *TransferNode*

Un *TransferNode* és la intersecció en la que les entitats fixen el destí i esperen el transport, és a dir, és el punt on s'ubiquen les entitats (seients) o les interseccions dels passadissos.

Cal remarcar en aquest punt, que els *TransferNodes* del model simbolitzen els seients on s'ubica cada passatger. El sistema està compost per 522 d'aquest i d'altres interseccions, com ara les portes, les sortides o els passadissos, tal i com es pot veure en la Imatge 15.4.

- Cada seient (*TransferNode*) té un procés assignat (*Descordar\_Cinturo\_I\_Aixecarse*) que especifica les funcions del passatger, com es mostra en la Imatge 15.26.
- En aquest cas, el passatger primer s'ha de descordar el cinturó i després aixecar-se per iniciar l'evacuació.
- Els temps de cada passatger estan definits a la Taula (Imatge 15.27), per mitja d'uns valors aleatoris, tal i com s'ha descrit en altres apartats.
- En el model creat, els passatgers inicien la simulació amb aquests processos, els quals generen un cert temps definit.
- Un cop realitzat aquest procés, apareixen les entitats al model de manera visual i comencen a desplaçar-se pel sistema. Cal enunciar, que no s'ha pogut trobar una solució perquè les entitats es vegin parades a cada *TransferNode* mentre es genera aquest procés.

Properties: P_F3_SD (TransferNode)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
[-] Crossing Logic	
Initial Traveler Capacity	Infinity
Entry Ranking Rule	First In First Out
[-] Routing Logic	
Outbound Link Preference	Any
Outbound Link Rule	Shortest Path
Entity Destination Type	Continue
[-] Transport Logic	
Ride On Transporter	False
[-] Tally Statistics	
[-] Add-On Process Triggers	
Run Initialized	
Run Ending	
Entered	<b>Descordar_Cinturo_I_Aixecarse</b>
Exited	
[-] Advanced Options	
[-] General	
[-] Animation	

Imatge 15.26: *TransferNode* del seient

### 15.1.1 La Taula

La *Table1*, tal i com es pot veure en la imatge 15.27, és una taula on es defineixen els valors i el temps de cada acció que realitzar el passatger:

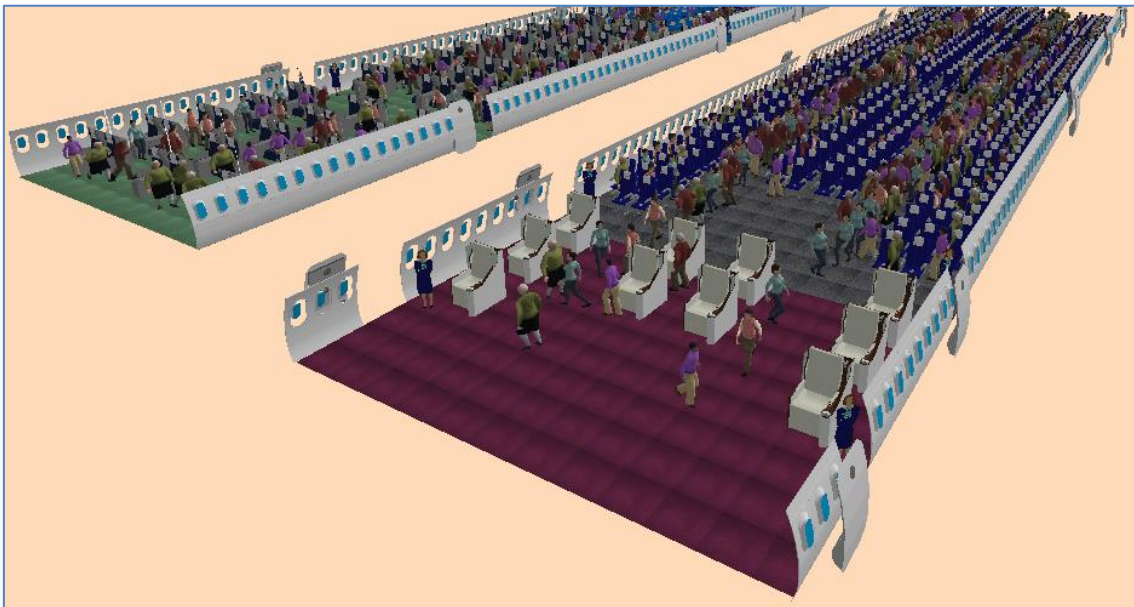
- **Ubicació:** Són els *TransferNodes* (Seients), on s'ubica cada entitat (Passatger) en el model.
- **Velocitat\_Passatger:** És la velocitat a que es mouen els passatgers pel sistema, la qual està definida en metres per segon.
- **Descordar\_Cinturo:** És el temps que tarda un passatger a descordar-se el cinturó en el cas que s'hagi d'evacuar l'aeronau, expressat en segons.
- **Aixecarse:** Són el segons que tardarà un passatger del model en aixecar-se del seu seient i començar a iniciar la seva evacuació.
- **Saltar\_Tobogan:** És el temps assignat a cada passatger per saltar pel tobogan d'emergència expressat en segons.
- **Lliscar\_Tobogan:** És el temps que tarda un passatger en lliscar pel tobogan d'emergència expressat en segons també.

Tables	Add Column	Edit Column	Data
Facility	Processes	Definitions	Results
Views	Table1		
Tables	Passatger	Velocitat_Passatger (Meters per Second)	Descordar_Cinturo (Seconds)
Lookup Tables			Aixecarse (Seconds)
Rate Tables			Saltar_Tobogan (Seconds)
Schedules			Lliscar_Tobogan (Seconds)
Changeovers			
1	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
2	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
3	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
4	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
5	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
6	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
7	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
8	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
9	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
10	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
11	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
12	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
13	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
14	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
15	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
16	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
17	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
18	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
19	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
20	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
21	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
22	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
23	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
24	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
25	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
26	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
27	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
28	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
29	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)
30	1	Random.Uniform (0.5,1.5)	Random.Uniform (1.5,3)

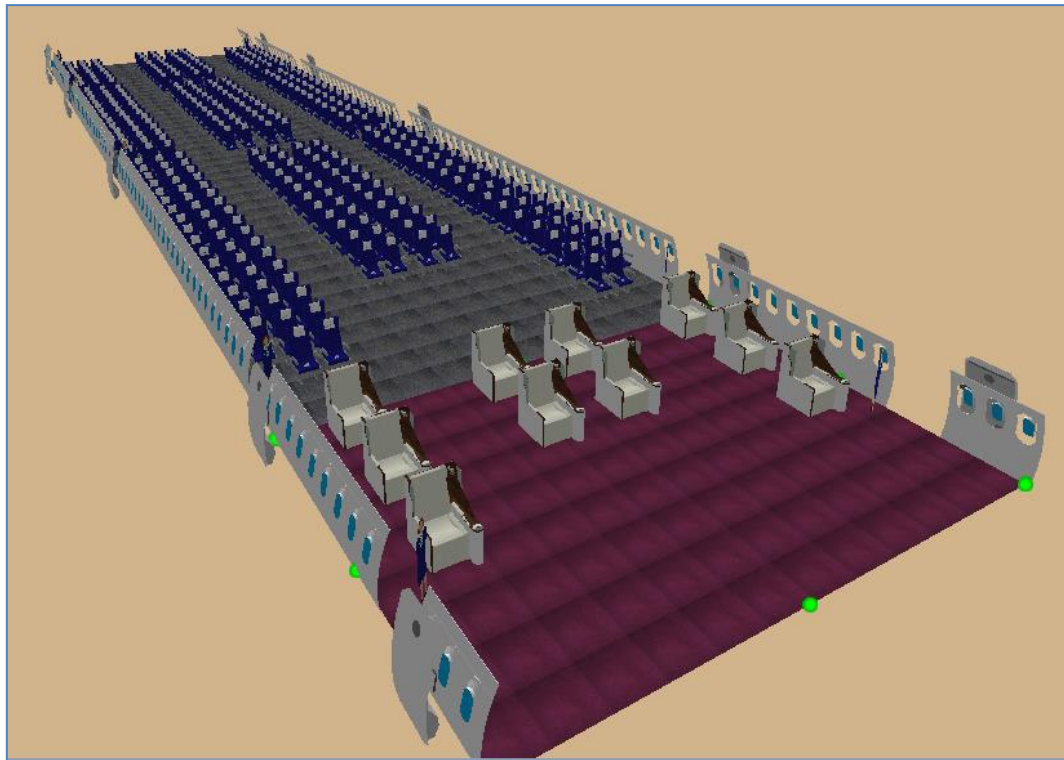
Imatge 15.27: Taula del model A380

### 15.8 Model en 3D

El model A380 desenvolupat al llarg del projecte és un sistema creat per representar gràficament una evacuació en un Airbus A380 i estudiar el comportament dels passatgers a l'hora d'abandonar l'aeronau. Per poder valorar millor tots aquets conceptes, i així, obtenir millor conclusions, el model s'ha dissenyat gràficament en 3D. A continuació, es poden veure algunes imatges del model, on inicialment es van ubicar els seients diferenciats per les classes de passatgers, i posteriorment, es van afegir altres components més, com ara les parets de l'aeronau, les portes, les hostesses, el terra, etc.



Imatge 15.28: Imatge gràfica dels passatgers evacuant el model A380



Imatge 15.29: Imatge en 3D de la coberta principal del model A380



Imatge 15.30: Imatge en 3D de tot el model A380



## Secció 6: Experiments i anàlisi dels resultats





## 16. Anàlisi dels resultats

### 16.1 Introducció

Per tal d'aconseguir els objectius marcats, resulta oportú realitzar un estudi detallat del model de simulació creat i desenvolupar un anàlisi dels resultats obtinguts a partir de diferents escenaris. A més, a part de contrastar i avaluar els diferents resultats, es realitza una comparativa entre els diferents factors d'ocupació en que es troba l'aeronau, ja sigui al 100% d'ocupació, al 85% o al 70%, i així veure quins són els seus efectes i resultats en una evacuació d'emergència. Per factor d'ocupació s'entén el valor percentual que indica la relació existent entre el nombre total de passatgers d'un avió i la capacitat màxima de l'aeronau.

Per poder analitzar el model en els diferents escenaris d'ocupació, s'ha creat un model similar per a cada un dels casos, ja que el programa feia molt complicat variar el nombre de passatgers introduïts en les taules (Imatge 15.27) a l'hora de realitzar els experiments de simulacions. És a dir, s'ha creat un model "[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380\\_100%](#)", on el factor d'ocupació de l'aeronau plantejada és del 100% en passatgers, un altre model "[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380\\_85%](#)", amb una ocupació de passatgers del 85 %, i finalment un últim model, "[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380\\_70%](#)", amb el 70 % d'ocupació de l'aeronau.

Els resultats que s'obtenen són els temps d'evacuació que genera el model creat a partir dels experiments de diferents escenaris. Per validar aquests experiments, es realitza 50 simulacions mitjançant el programa Simio, d'aquesta manera, es verifiquen tots els resultats.

En aquest projecte, alguns aspectes dels que s'estudia son: l'ocupació de l'aeronau i els seus efectes, el temps mig que tarda un passatger en abandonar l'avió i la duració total d'evacuar a tots els passatger amb la meitat de les sortides d'emergència disponibles.

Un cop obtingudes les observacions sobre els temps totals d'evacuació, mitjançant els experiments en cada un dels escenaris, es compararan entre ells, per tal de concloure quins són els seus efectes i resultats en una aeronau d'aquestes grans dimensions.

## 16.2 Disseny dels escenaris

En el següent apartat del projecte es plantegen els diferents escenaris anunciats anteriorment i s'estudien alguns dels seus resultats. A partir d'un primer anàlisi, posteriorment es podran obtenir conclusions que verifiquin les observacions obtingudes.

Els diferents models creats, que s'han enunciat anteriorment, han estat lleugerament modificats per tal de poder realitzar els experiments i simulacions en funció de l'ocupació marcada. El canvi que s'ha realitzat en cada un dels models, ha estat l'eliminació d'alguns passatgers de la taula (Imatge 15.27), i d'aquesta manera, el programa pot aplicar les simulacions en funció dels passatgers necessaris en cada escenari. El nombre de passatgers per a cada un dels escenari i el factor d'ocupació del model queda reflectit en les següents taules:

### 100 % Ocupació 522 Passatgers

Distribució cabina	Passatgers	Distribució cabina	Passatgers
P	10	B1	30
E0	4	B2	54
E1	144	PE	38
E2	122	E4	46
E3	74		

Taula 16.1: Passatgers del model amb el 100% d'ocupació

### 85 % Ocupació 444 Passatgers

Distribució cabina	Passatgers	Distribució cabina	Passatgers
P	8	B1	26
E0	3	B2	46
E1	123	PE	32
E2	104	E4	39
E3	63		

Taula 16.2: Passatgers del model amb el 85% d'ocupació

### 70 % Ocupació 366 Passatgers

Distribució cabina	Passatgers	Distribució cabina	Passatgers
P	7	B1	21
E0	3	B2	38
E1	101	PE	27
E2	85	E4	32
E3	52		

Taula 16.3: Passatgers del model amb el 70% d'ocupació

### 16.2.1 Temps mig de sortida d'un passatger

En tots tres escenaris, es pretén analitzar el temps mig que pot tardar un passatger en abandonar un avió A-380 d'aquestes característiques. Per poder obtenir aquests resultats, en els experiments del model "Model\_Simulació\_Evacuació\_A380", s'ha afegit tres noves respostes que ens proporcionen aquests temps, tal i com s'aprecia en la Imatge 16.1.

Scenario	Name	Status	Replications Required	Completed	Controls	Responses
Scenario1		Compl...	50	50 of 50	Infinity	Temps_Mig... 38,3319 Temps_Maxim... 101,829 Temps_Minim (Sec...) 3,80791
Scenario2		Idle	50	0 of 50	0	

Imatge 16.1: Escenari del Temps\_mig, Temps\_Màxim i Temps\_Mínim

Les modificacions que s'han de fer a cadascuna de les respostes es pot veure en la Imatge 16.2, on es modifica l'expressió amb *Passatgers\_Evacuats.TimeInSystem.Minimum*, per tal d'aconseguir el temps desitjat. Seguidament, es defineix la unitat de mesura amb la qual s'obtenen tots els resultats, en aquest cas segons. Aquest pas s'ha realitzat també per a les altres respostes, *Temps\_Mig* i *Temps\_Mínim*.

El número de simulacions que es realitzaran per obtenir aquests valors és de 50, això es defineix en la casella "Required" del programa *Simio*, (imatge16.1).

Properties: Temps_Minim (Response)	
<input type="checkbox"/> Show Commonly Used Properties Only	
<b>General</b>	
Name	Temps_Minim
Display Name	Temps_Minim
Expression	Passatgers_Evacuats.TimeInSystem.Minimum
Display Units	seconds
Objective	None
Lower Bound	
Upper Bound	

Imatge 16.2: Resposta dels experiments Temps\_Mínim

La resposta *Temps\_Mig*, *Temps\_Maxim* i *Temps\_Mínim* retorna el valor d'observació màxim, mig i mínim, registrat per l'estadístic de comptatge durant la simulació. És a dir, el *Temps\_Mig* és el temps mig que tarda una de les entitats (passatger) en abandonar el sistema; *Temps\_Maxim* és el temps màxim que tarda l'últim passatger en sortir de l'aeronau; i el *Temps\_Mínim*, és el temps més ràpid del primer passatger que abandona l'avió.

### ➤ Factor d'ocupació del model del 100 %:

El model de simulació utilitzat en aquest escenari és el “[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380\\_100%](#)”, on el número de passatgers és de 552 i l'ocupació de l'aeronau és del 100%, com indica el nom del model, els resultats són el següents:

Design Response Results Pivot Grid Reports									
Scenario			Replications		Controls	Responses			
	✓ Name	Status	Required	Completed	Bloqueig_Porta	Temps_Mig...	Temps_Maxim...	Temps_Minim (Seconds)	
▶	✓ Scenario1	Compl...	50	50 of 50	Infinity	38,0206	101,086	3,81117	
*									

Imatge 16.3: Resultats del model 100% d'ocupació (Temps\_Mig, Temps\_Màxim, Temps\_Mímnim)

Els resultats obtinguts en la simulació d'aquest experiment (Imatge16.3), indiquen que el temps mig d'evacuació d'un passatger es troba en 38,29 segons. El primer passatger en sortir de l'aeronau tarda 3,81 segons i l'últim 101,59 segons.

### ➤ Factor d'ocupació del model del 85 %:

En aquest altre cas, el model és “[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380\\_85%](#)”, el nombre de passatgers que ocupen el 85 % de l'avió és de 444. En la següent imatge es poden veure els resultats obtinguts:

Design Response Results Pivot Grid Reports									
Scenario			Replications		Controls	Responses			
	✓ Name	Status	Required	Completed	Bloqueig_Porta	Temps_Mig...	Temps_Maxim...	Temps_Minim (Seconds)	
▶	✓ Scenario1	Compl...	50	50 of 50	Infinity	33,2377	88,3351	3,83568	
*									

Imatge 16.4: Resultats del model 85% d'ocupació (Temps\_Mig, Temps\_Màxim, Temps\_Mímnim)

Les observacions que s'extreuen a partir d'aquest experiment (Imatge 16.4), indiquen que el valor mig d'evacuar un passatger és de 33,24 segons. El primer passatger abandona l'avió amb un temps de 3,84 segons, i l'últim amb 88,334 segons.

➤ **Factor d'ocupació del model del 70 %:**

L'últim cas es realitza a partir del model “[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380\\_70%](#)”, on l'ocupació de l'aeronau és del 70 % i hi ha 366 passatgers, els resultats obtinguts són els següents:

Design Response Results Pivot Grid Reports									
Scenario			Replications		Controls	Responses			
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Bloqueig_Porta	Temps_Mig...	Temps_Maxim...	Temps_Minim (Seconds)	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Compl...	50	50 of 50	Infinity	28,1696	72,2431	3,72526	

**Imatge 16.5:** Resultats del model 70% d'ocupació (Temps\_Mig, Temps\_Màxim, Temps\_Mínim)

El valors que mostra l'experiment d'aquest model (Imatge 16.5), indiquen que un passatger tarda un temps de 28,17 segons de mitjana en evacuar un Airbus 380, amb una ocupació del 70%.

També es mostra que el passatger més ràpid en abandonar l'aeronau tarda uns 3,73 segons, i l'últim 72,24 segons més.

Els següents resultats són obtinguts a partir del mateix model mencionat en l'apartat anterior. Per poder obtenir uns resultats coherents amb l'objectiu plantejat, per reduir les sortides d'emergència de l'avió, s'han agut de modificar aquests models i canviar alguna de les seves característica de funcionament.

El canvi dut a terme en tots els models creats ha estat el següent: eliminar els *TimePath*, de la banda dreta de l'aeronau, (*Sortida\_1\_RP*, *Sortida\_2\_RP*, *Sortida\_3\_RP*, *Sortida\_4\_RP*, *Sortida\_5\_RP* i *Sortida\_1\_RS*, *Sortida\_2\_RS*, *Sortida\_3\_RS*).

Aquests *TimePath*, tal i com s'ha explicat en l'apartat 5, són els encarregats d'enllaçar les sortides de l'aeronau amb el *Sink* (*Evacuació\_Passatgers*) del model. D'aquesta manera, si s'eliminen els *TimePath* d'una de les bandes de l'aeronau, mitjançant el procés *Evacuació\_Passatgers* (imatge 15.19), les entitats abandonen l'avió per l'altra porta. Gràcies a això, s'obté l'objectiu d'evacuar a tots els passatgers pel 50 % de les sortides que queden disponibles.

### ➤ Factor d'ocupació del model del 100 % amb el 50 % de les portes disponibles:

El valors obtinguts a partir del model "[Model\\_Simulació\\_Evacuació\\_A380\\_100%](#)", modificat prèviament, es mostren a continuació:

Design Response Results Pivot Grid Reports									
Scenario		Replications			Controls	Responses			
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Bloqueig_Porta	Temps_Mig...	Temps_Maxim...	Temps_Minim...	
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Compl...	10	10 of 10	Infinity	58,397	151,935	3,96433	
<input type="checkbox"/>									

Imatge 16.6: Resultats del 100% d'ocupació i 50% de sortides (Temps\_Mig, Temps\_Màxim, Temps\_Mímnim)

Tal i com es mostra en la imatge anterior (imatge 16.6), els resultats de l'experiment indiquen que de mitjana un passatger tarda 58,94 segons en abandonar l'avió amb el 50 % de les portes disponibles i una ocupació del 100 % de passatgers. D'altra banda, el primer passatger que surt tarda uns 3,95 segons i l'últim uns 152,16 segons.

➤ **Factor d'ocupació del model del 85 % amb el 50 % de les portes disponibles:**

Seguidament es mostren els resultats extrets a partir dels experiments realitzats en el model "Model\_Simulació\_Evacuació\_A380\_85%", el qual ha estat modificat prèviament:

Design Response Results Pivot Grid Reports								
Scenario		Replications		Controls		Responses		
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Bloqueig_Porta	Temps_Mig...	Temps_Maxim...	Temps_Minim...
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Compl...	10	10 of 10	Infinity	51,3602	130,659	3,96152
<input type="checkbox"/>								

Imatge 16.7: Resultats del 85% d'ocupació i 50% de sortides (Temps\_Mig, Temps\_Màxim, Temps\_Mímnim)

Tal i com pot veure en la imatge anterior (Imatge 16.7), els valors obtinguts indiquen que un passatger de mitjana tardaria 51,36 segons en abandonar l'avió en cas d'evacuació. Per altra banda, el primer passatger que sortís de l'aeronau ho faria en 3,96 segons i l'últim en 160,66 segons.

➤ **Factor d'ocupació del model del 70 % amb el 50 % de les portes disponibles:**

En la imatge següent es mostren els resultats obtinguts a partir de la modificació realitzada en el model "Model\_Simulació\_Evacuació\_A380\_70%":

Design Response Results Pivot Grid Reports								
Scenario		Replications		Controls		Responses		
<input checked="" type="checkbox"/>	Name	Status	Required	Completed	Bloqueig_Porta	Temps_Mig...	Temps_Maxim...	Temps_Minim...
<input checked="" type="checkbox"/>	Scenario1	Compl...	10	10 of 10	Infinity	43,4964	115,435	4,1744
<input type="checkbox"/>								

Imatge 16.8: Resultats del 70% d'ocupació i 50% de sortides (Temps\_Mig, Temps\_Màxim, Temps\_Mímnim)

Els resultats que s'obtenen a partir de la simulació d'aquest model (imatge 16.8), mostren que la mitjana d'un passatger en abandonar un Airbus 380 està en 43,50 segons. D'altra banda, el primer passatger en sortir de l'avió tardarà aproximadament 4,17 segons i l'últim uns 115,43 segons.

## 16.2.2 Temps d'evacuació en funció del factor d'ocupació

### ➤ Factor d'ocupació del 100 %

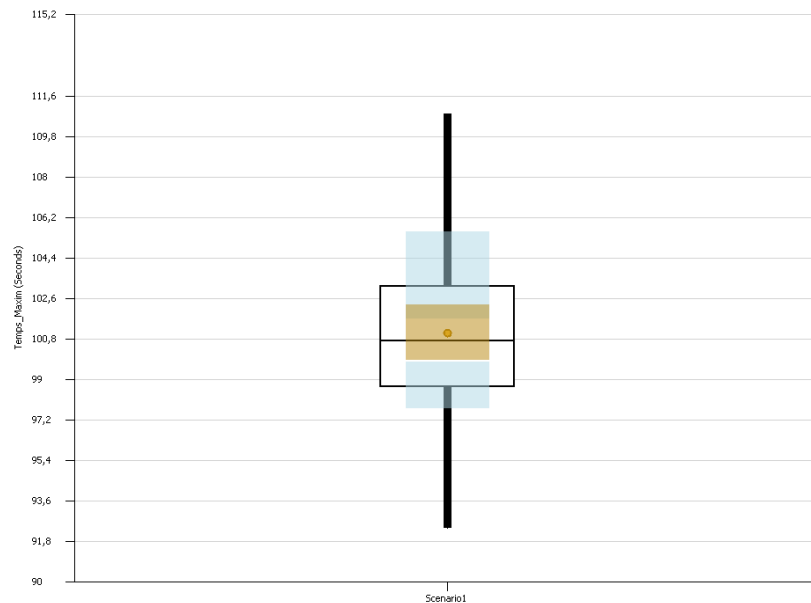


Figura 16.1: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 100%

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Maximum	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
		Average	66,1559	63,9938	68,4559	0,3285
FlowTime	TimeInSystem	Minimum (Seconds)	3,8112	3,4397	4,6144	0,0831
		Maximum (Seconds)	101,0860	92,3863	110,8240	1,2240
		Average (Seconds)	38,0206	36,7780	39,3424	0,1888
Throughput	NumberCreated	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000

Taula 16.4: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 100%

En la Taula 16.4 es mostra els temps totals d'evacuació d'aquest escenari, que compta amb un factor d'ocupació del 100 %. Per calcular aquests valors s'han tingut en compte les 50 simulacions realitzades de cada experiment. D'altra banda, aquesta taula també proporciona els valors obtinguts en cada experiment, com es el cas del la mitjana , el màxim i el mínim de l'evacuació del primer passatger i l'últim.

Tal i com es pot observar, els temps marcats en vermell indiquen quants segons tardarà l'últim passatger en abandonar l'aeronau, entenent així, que tots els altres passatgers hauran sortit abans d'aquest temps. En color verd es pot veure les entitats que es creen i es destrueixen.



➤ Factor d'ocupació del 85 %

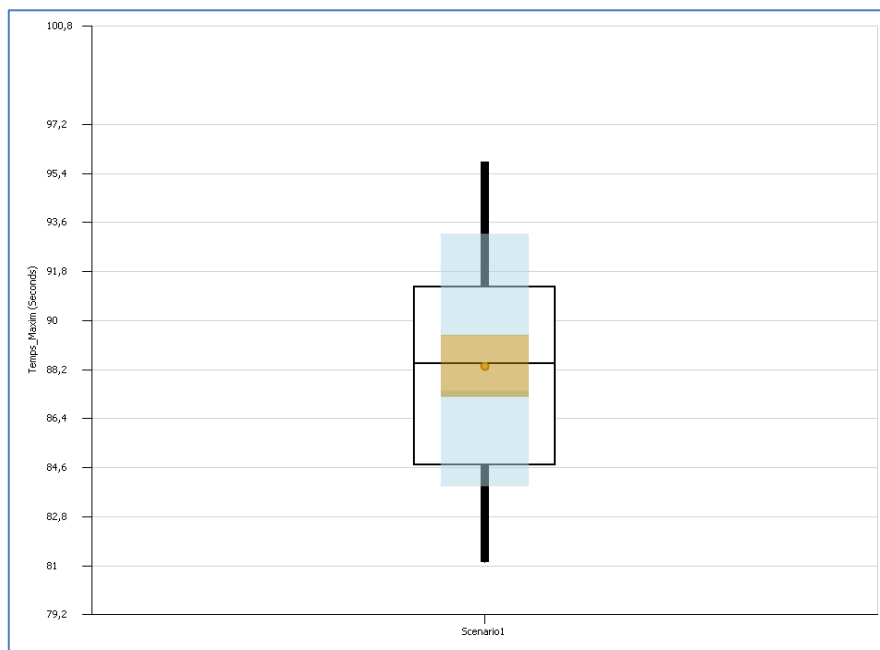


Figura 16.2: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 85%

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Maximum	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
		Average	49,1918	46,5604	51,5054	0,2796
FlowTime	TimeInSystem	Minimum (Seconds)	3,8357	3,4513	4,6590	0,0848
		Maximum (Seconds)	88,3351	81,1290	95,8317	1,1331
		Average (Seconds)	33,2377	31,4597	34,8009	0,1889
Throughput	NumberCreated	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000

Taula 16.5: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 85%

➤ Factor d'ocupació del 70 %

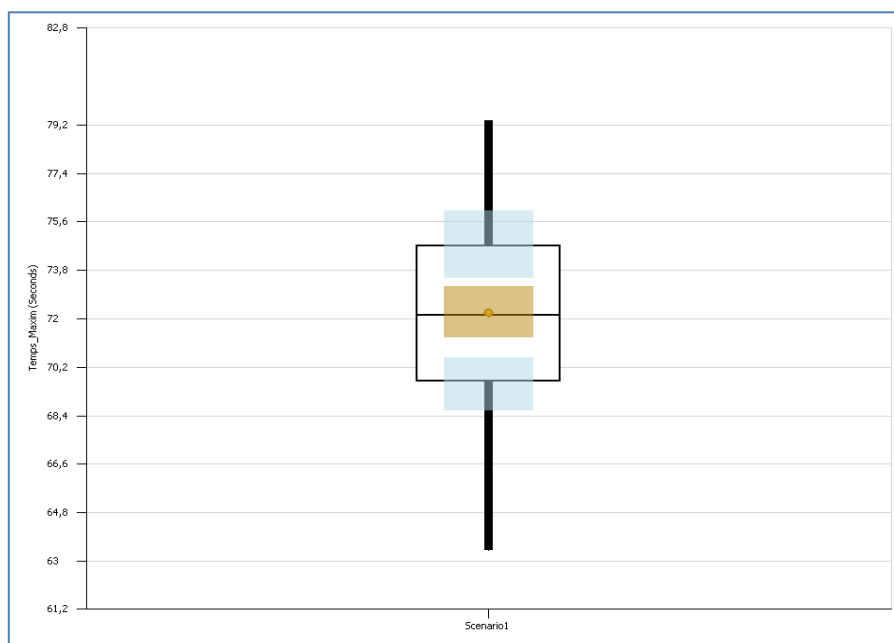


Figura 16.3: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 70%

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Maximum	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
		Average	34,3669	32,5110	36,0231	0,2301
FlowTime	TimeInSystem	Minimum (Seconds)	3,7253	3,4487	4,4451	0,0713
		Maximum (Seconds)	72,2431	63,3769	79,3517	0,9492
		Average (Seconds)	28,1696	26,6483	29,5271	0,1886
Throughput	NumberCreated	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000

Taula 16.6: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 70%

### 16.2.3 Temps d'evacuació amb la meitat de sortides disponible

Les taules i boxplots que es mostren a continuació indiquen els temps màxims, mínims i mitjans que tardaran els passatgers en abandonar un Airbus 380 amb un 50 % de les portes disponibles, és a dir, utilitzant només les sortides d'emergència ubicades a la banda esquerra de l'avió, tant per a la cabina principal com per a la superior.

Els models utilitzats han estat modificats per tal d'aconseguir els objectius plantejats, tal hi com s'indica en el punt 16.1.1.

#### ➤ Factor d'ocupació del 100 % amb el 50 % de les portes disponibles:

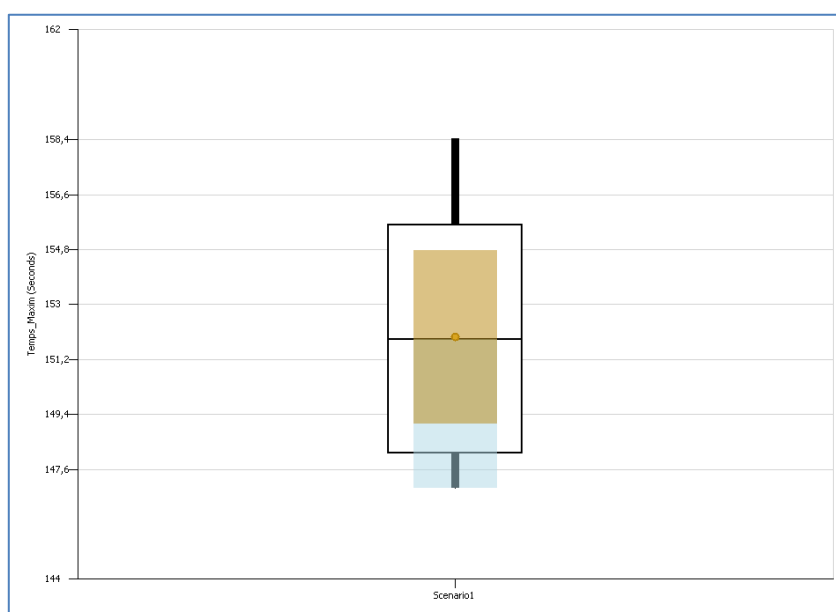


Figura 16.4: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 100% i 50% de sortides disponibles

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Average	101,6108	97,6471	106,2673	2,0951
		Maximum	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
FlowTime	TimeInSystem	Average (Se...	58,3970	56,1191	61,0731	1,2041
		Maximum (Se...	151,9352	146,9908	158,4260	2,8476
		Minimum (Sec...	3,9643	3,5073	4,3933	0,2353
Throughput	NumberCreated	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000

Taula 16.7: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 100% i 50% de sortides disponibles

➤ Factor d'ocupació del 85 % amb el 50 % de les portes disponibles:

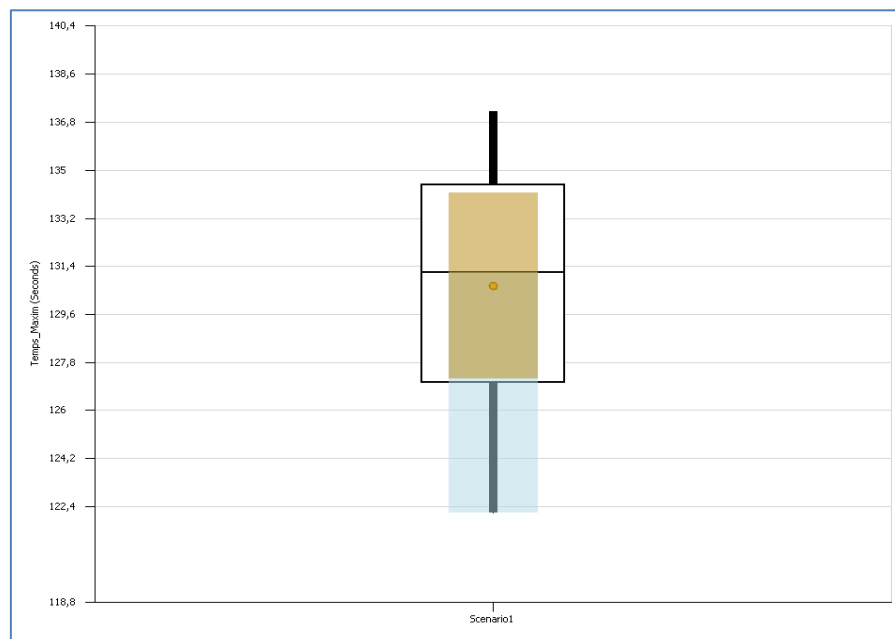


Figura 16.5: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 85% i 50% de sortides disponibles

Taula dels temps de simulació:

			Scenario1			
Category	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Average	76,0131	73,3286	78,7592	1,2588
		Maximum	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
FlowTime	TimeInSystem	Average (Se...	51,3602	49,5463	53,2157	0,8505
		Maximum (Se...	130,6594	122,1506	137,1889	3,4861
		Minimum (Sec...	3,9615	3,5293	4,3878	0,1892
Throughput	NumberCreated	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000

Taula 16.8: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 85% i 50% de sortides disponibles

➤ Factor d'ocupació del 70 % amb el 50 % de les portes disponibles:

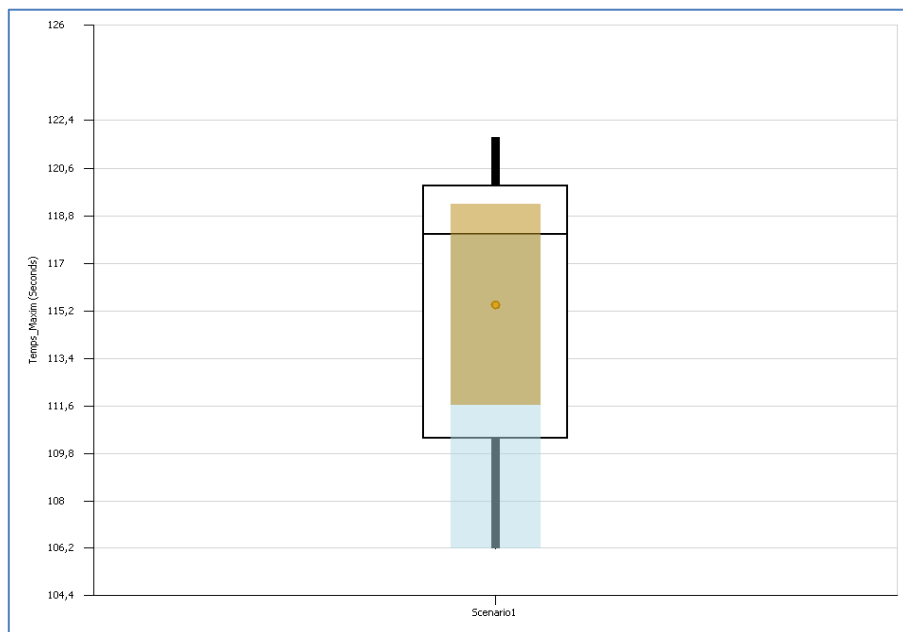


Figura 16.6: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 70% i 50% de sortides disponibles

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Average	53,0656	50,4456	56,2912	1,5320
		Maximum	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
FlowTime	TimeInSystem	Average (Se...	43,4964	41,3488	46,1403	1,2557
		Maximum (Se...	115,4350	106,1932	121,7591	3,8036
		Minimum (Sec...	4,1744	3,7214	4,6271	0,2079
Throughput	NumberCreated	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000

Taula 16.9: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 70% i 50% de sortides disponibles

#### 16.2.4 Resultats obtinguts a partir d'una distribució Random.Triangular

Com ja s'ha explicat en l'apartat anterior, inicialment es va utilitzar una distribució uniforme "Random.Uniform (x,y)" per definir els temps de cada acció del passatger i calcular el temps d'evacuació en cada escenari. Per millorar el model, posteriorment es va utilitzar una distribució diferent per a calcular els temps i comparar-los amb els valors obtinguts anteriorment. En aquest cas, es va utilitzar una distribució triangular, la qual permetia analitzar els resultats en 3 casos diferents, en el millor dels casos, en el pitjor i en un temps entremig. La distribució "Random.Triangular (x,y,z)" utilitzada, es pot veure en la Imatge 16.10, en la qual es defineixen els tres valors que es volen configurar per a cada acció del passatger en la *Table2*.

El model A380 només pot funcionar amb una de les dos taules, és a dir, només pot ser configurat amb una de les distribucions. Per poder introduir les dos en un mateix model, s'han afegit les dos taules amb diferent nom, però només funcionarà aquella que sigui nombrada com a *Table1*, ja que tot el model està configurat d'aquesta manera. És a dir, si es vol canviar de distribució, l'única cosa que haurà de fer l'usuari és nombrar aquella distribució que vulgui utilitzar amb el nom de *Table1*.

Els resultats obtinguts es mostren en l'apartat 21 i 22 de l'annex, on es pot veure els boxplots i temps d'evacuació obtinguts a partir de cada escenari, basats en l'ocupació i la disponibilitat de les sortides d'emergència.

Facility Processes Definitions Data Results						
Views	Table1	Table2				
Tables		Velocitat_Passatger (Meters per Second)	Descordar_Cinturo (Seconds)	Aixecarse (Seconds)	Saltar_Tobogan (Seconds)	Lliscar_Tobogan (Secon...
Lookup Tables		1 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
Rate Tables		2 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
Schedules		3 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
Changeovers		4 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		5 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		6 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		7 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		8 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		9 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		10 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		11 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		12 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		13 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		14 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		15 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)
		16 Random.Triangular (0.5,1,1.5)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1,2,3)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)	Random.Triangular (1.5,3,4.5)

Imatge 16.9: Taula dels temps de cada acció amb una segona distribució (Random.Triangular)

### 16.3 Discussió dels resultats

Un cop obtinguts tots els temps d'evacuació dels diferents models de simulació, que varien en funció de l'ocupació de l'aeronau, és possible extreure una sèrie de conclusions sobre els mètodes d'evacuació, els efectes i conseqüències de l'ocupació en una aeronau d'aquestes grans dimensions.

En primer lloc, es possible observar el funcionament del model visualment i extreure'n unes primeres valoracions, com per exemple el comportament dels passatgers a l'hora d'evacuar les diferents cabines i la formació de colls d'ampolla en les sortides de l'avió.

Els diferents escenaris creats i desenvolupats al llarg del projecte, permeten analitzar tots aquests aspectes, la qual cosa podrien ajudar a l'hora d'ubicar i distribuir els passatgers per aconseguir una evacuació més eficient en temps i seguretat.

Si s'estudia el comportament de les entitats en el model desenvolupat A380, es pot comprovar que majoritàriament, els colls d'ampolla es formen en les portes que han de sortir més passatgers, com són el cas de les sortides (*Sortida\_2\_LP*, *Sortida\_3\_LP*, *Sortida\_4\_LP*, *Sortida\_2\_RP*, *Sortida\_3\_RP*, *Sortida\_4\_RP*), ubicades a la coberta principal de l'aeronau. Lògicament aquest fet succeeix perquè la coberta principal ubica a la major part de passatgers que viatgen en l'avió. Gràcies a la simulació, aquest factor es pot analitzar detalladament i buscar mesures correctives per disminuir els temps d'evacuació i augmentar la seguretat en els vols.

D'altra banda, l'anàlisi del model també permet veure i analitzar el comportament dels passatgers a l'hora de moure's i desplaçar-se per l'avió, ja que variant els temps de cada tipus de passatger, es podria estudiar més detalladament els temps finals d'evacuació.

En segon lloc, mitjançant la creació d'experiments i la realització de simulacions en diferents escenaris, es pot arribar a estudiar tots els temps d'evacuació que succeeixen en el moment en que varia l'ocupació de l'aeronau, o en el moment en que el nombre de sortides disponibles disminueix. Al llarg d'aquest apartat, s'ha intentat explicar quin ha sigut el funcionament dels experiments i quins són els resultats que s'han obtingut per arribar a les següents conclusions.

- **Comparació dels temps d'evacuació en funció del factor d'ocupació**

Els diferents resultats obtinguts sobre la variació del temps d'evacuació en funció del factor d'ocupació es mostra en el gràfic i taula següent (Taula 16.10 i Figura 16.7).

Les conclusions que s'obtenen a partir d'aquest estudi és, que el factor d'ocupació pot afectar bastant en el temps que es tarda en evacuar una aeronau amb més de 520 passatgers. Com es pot veure en el gràfic (Figura 16.7), hi ha una gran diferència en els temps, ja que els passatgers amb una ocupació del 70% tarden 30 segons menys respecte a la màxima capacitat. Si s'analitzen més detalladament aquests valors, es podria suposar que això succeeix perquè en el moment d'evacuació, els passatgers generen un retard entre ells que s'acumula successivament. D'aquesta manera, el temps final d'evacuació s'incrementa en funció del nombre de passatgers, com més passatgers hi hagi més temps durarà el procés.

Una altra observació que es pot extreure a partir de les simulacions realitzades amb el model creat A380 és, que el model s'ajusta bastant amb els temps requerits per a una evacuació segura i eficient. Tal i com es pot veure en la Taula 16.10, els temps s'ajusten bastant als 90 segons màxims, però cal remarcar que no s'ha creat un model que diferencia els diferents tipus de passatgers i que no té en compte altres factors aliens, com podrien ser el descontrol, l'estrès i la por dels passatgers, el risc, la seguretat, etc.

**Temps d'evacuació del model**

	Temps Mínim	Temps Mig	Temps Màxim
Factor ocupació 100%	92,86	101,59	112,41
Factor ocupació 85%	81,13	88,34	95,83
Factor ocupació 70%	63,38	72,24	79,35

**Taula 16.10:** Temps d'evacuació del model A380 en funció del factor ocupació



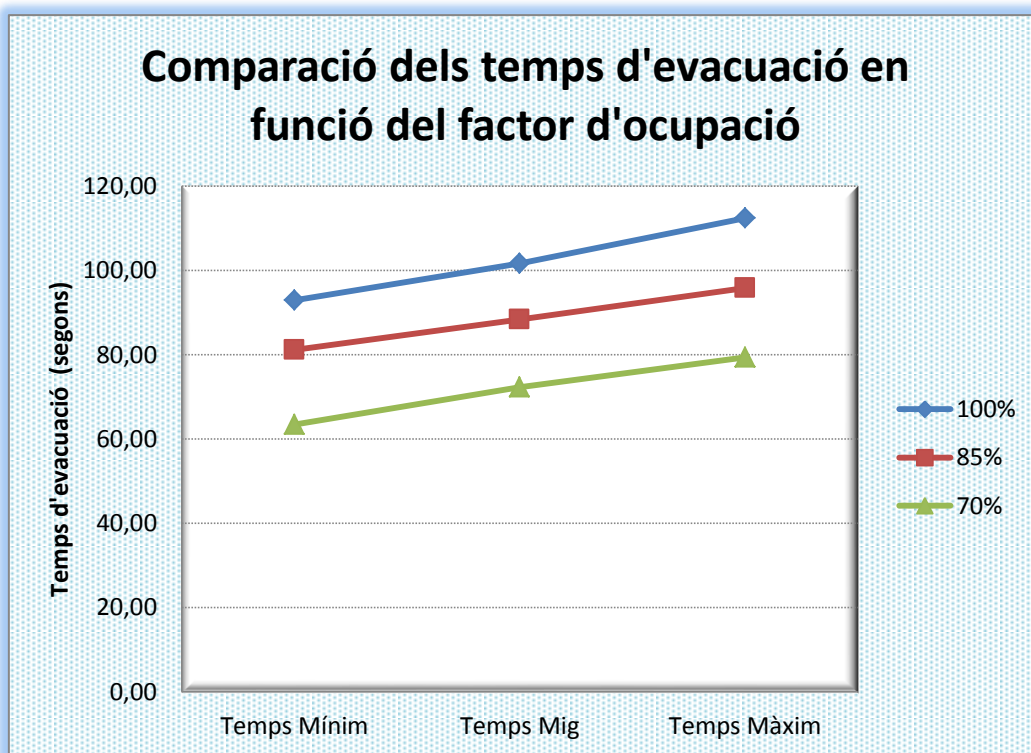


Figura 16.7: Representació gràfica comparativa dels temps d'evacuació

- **Comparació dels temps d'evacuació amb el 50% de les sortides disponibles i en funció del factor d'ocupació**

El resultat que venen a continuació (Taula 16.11 i Figura 16.8), analitzen els temps d'evacuació extrets a partir del model modificat i que tenen en compte els diferents escenaris d'ocupació plantejats.

Tal i com s'aprecia en la següent taula (taula 16.11), els temps d'evacuació són molt més elevats si es comparen amb els valors anteriors. Això és degut a que tots els passatgers, en aquest cas entre 366 i 552 passatgers, han d'abandonar l'aeronau amb la meitat de sortides disponibles, com és lògic, aquets temps es veu bastant incrementats per aquest fet.

Aquest estudi s'ha realitzat per comprovar i analitzar quins són els efectes de disminuir el nombre de sortides i veure quin és l'increment final d'evacuació.

En conclusió, els temps final d'evacuació no s'incrementen el doble, com es podria suposar en un primer cas pel fet de reduir les sortides a la meitat. D'altra banda, l'ocupació també és un

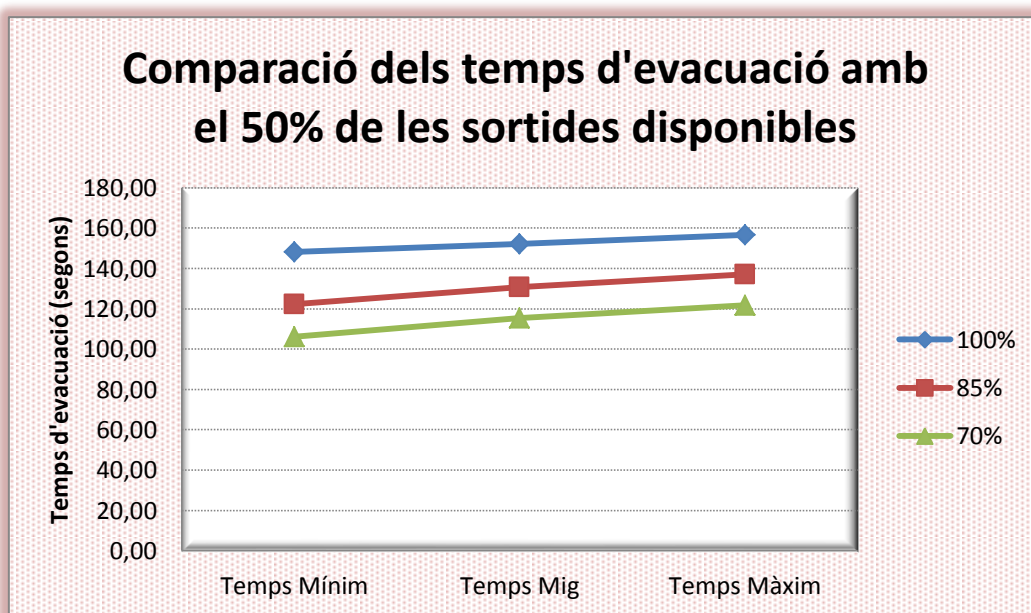
factor molt important ha tenir en comte, ja que la disminució de passatgers beneficia a la reducció del temps d'evacuació final. Però si es comparen els valors obtinguts amb els anteriors, aquest factor ocupació influeix més que si s'utilitzen totes les sortides per a evacuar a tots els passatgers de l'avió.

Si bé és cert que qualsevol aeronau ha de ser evacuada en un màxim de 90 segons encara que només disposi de la meitat de sortides, aquest model tampoc veu molt sobrepassat aquest valor, ja que com molt bé s'ha dit, un Airbus 380 té la capacitat de molts passatgers i no resulta gaire fàcil evacuar-los a tots amb només un 50 % de les sortides d'emergència. És per aquest motiu, que un model com aquest s'ajustaria bastant a la realitat, permetria desenvolupar i aplicar millores més eficients per reduir aquests temps, augmentant així la seguretat dels passatgers.

**Temps d'evacuació del model amb el 50% de les sortides disponibles**

	Temps Mínim	Temps Mig	Temps Màxim
Factor ocupació 100%	148,13	152,16	156,53
Factor ocupació 85%	122,15	130,66	137,19
Factor ocupació 70%	106,19	115,44	121,76

**Taula 16.11:** Temps d'evacuació del model A380 amb un 50% de les sortides disponibles i en funció del factor ocupació



**Figura 16.8:** Representació gràfica comparativa dels temps d'evacuació del model A380 amb un 50% de les sortides disponibles

- Comparació de les distribucions utilitzades, *Uniform* i *Triangular*

Aquest apartat del projecte tracta de comparar els resultats obtinguts a partir de les dos distribucions utilitzades per calcular els temps d'acció que realitzen els passatgers, "Random.Uniform" i "Random.Triangular". La principal diferència està en que la distribució uniforme és una distribució per a variables aleatòries contínues, tots els seus intervals de longitud són d'igual probabilitat, amb valors màxims i mínims. En canvi, la distribució triangular està basada en un coneixement del mínim, el màxim i un valor entremig inesperat, com és el valor modal. Aquesta distribució s'utilitza en els casos que es desconex exactament els temps reals i que hi ha una falta de precisió o d'informació.

En el següent gràfic (Figura 16.9), es pot veure la comparació realitzada dels resultats amb les dos distribucions utilitzades. Si s'estudien els valors obtinguts, és pot concloure que la distribució Triangular permet obtenir uns resultats més ajustats a la normativa i disminuir el temps d'evacuació final. Això pot ser degut a que la distribució triangular agafa uns valors entremitjos els quals s'ajusten més als temps inesperats que poden realitzar els passatgers.

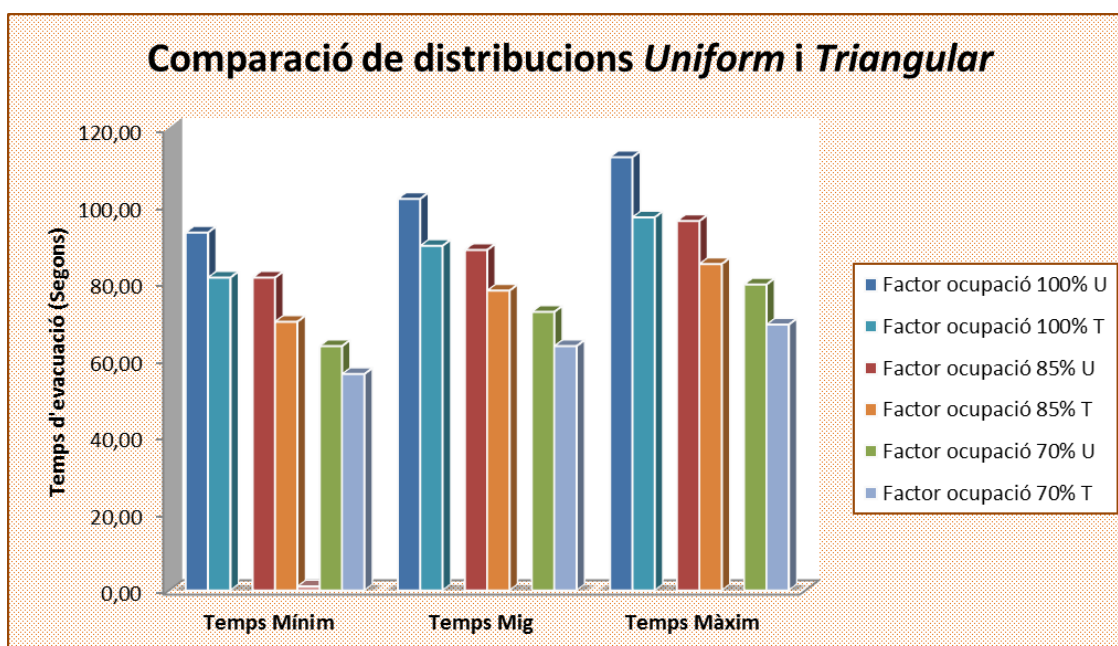
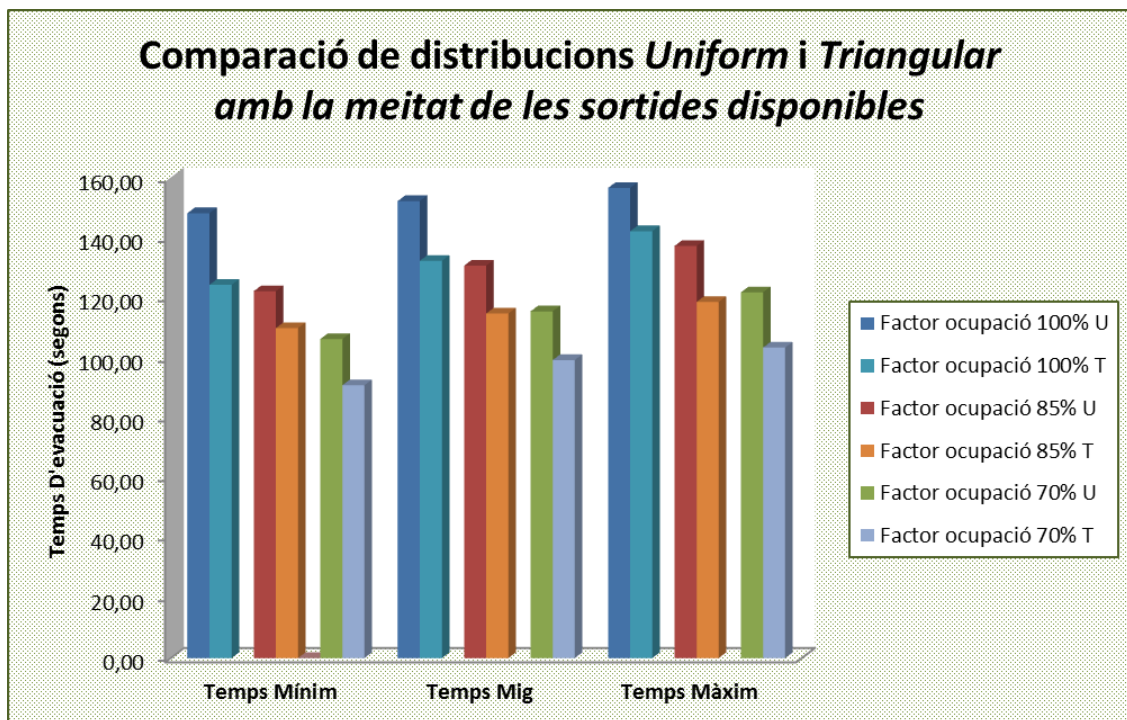


Figura 16.9: Gràfic comparatiu dels temps totals d'evacuació de les dos Distribucions (Uniform i Triangular)

D'altra banda, si es realitza una comparació de les distribucions utilitzades en els escenaris amb la meitat de sortides disponibles, es pot observar en el següent gràfic (Figura 16.10), que els temps totals d'evacuació també són inferiors si es calculen amb la distribució triangular.

Aquesta comparativa també permet analitzar que el model pot variar bastant si s'utilitzen diferents distribucions, per aquesta raó, és molt difícil determinar quina seria la distribució que permetria obtenir els resultats més reals. El fet d'escollir una de les dos distribucions varia en funció del coneixement que es té de les dades, però sempre pot aparèixer el problema de calcular i mesurar el comportament estocàstic i imprevisible dels passatgers.



**Figura 16.10:** Gràfic comparatiu dels temps totals d'evacuació en les dos Distribucions (Uniform i Triangular) amb el 50% de les sortides disponibles

## Secció 7: Conclusions i treball futur



## 17. Conclusions

L'evacuació d'emergència en els avions comercials és un procés molt complex que es realitza en casos d'accident, que per raons de seguretat, els passatgers han d'abandonar l'aeronau de manera controlada i amb el menor temps possible. Cal mencionar que l'evacuació d'emergència en aquest mitjà de transport és poc freqüent, això és degut al gran nombre d'estudis realitzats per millorar la seguretat en els avions.

A partir de la revisió científica, s'ha pogut observar que el procés d'evacuació és molt més complex que el simple fet de sortir d'un avió, ja que es produeixen grans situacions de descontrol, estrès, nerviosisme, etc., que requereixen una ràpida coordinació per part de la tripulació de cabina i un pla d'acció per evacuar a tots els passatgers de la manera més segura. També ha permès aprofundir en el tema de la simulació orientada a objectes per representar una evacuació en una aeronau.

Després d'estudiar el problema d'evacuacions en aeronaus de grans dimensions, les quals poden tenir una capacitat superior als 500 passatgers, s'ha observat que evacuar tants passatgers en un temps inferior als 90 segons és una tasca molt difícil de complir, ja que es pot donar molts casos en que algun factor incrementi el temps final d'evacuació i retardi la sortida dels passatgers. Això ha permès realitzar un estudi en que es plantegen diferents escenaris, on varien l'ocupació de l'aeronau i el nombre de sortides d'emergència, per obtenir quins són els seus efectes i conseqüències.

En el projecte s'ha desenvolupat un model de simulació mitjançant el programa Simio amb l'objectiu de reproduir gràficament l'evacuació en un Airbus A-380, d'aquesta manera s'ha pogut estudiar el comportament dels passatgers dins de l'aeronau i analitzar diferents situacions que es poden presentar en un vol comercial, com ara els escenaris comentats anteriorment.

Algunes de les conclusions extretes a partir del model, determinen que l'ocupació és un factor directament relacionat amb el temps d'evacuació, com més passatgers hi ha a l'avió, més temps es tardarà en evacuar-lo i al contrari. D'altra banda, el fet de disminuir el nombre de sortides d'emergència incrementa el temps per evacuar a tots els passatgers.

En segon lloc, analitzant visualment el sistema creat, es pot concloure que els passatgers ubicats a la coberta superior abandonen l'aeronau abans que molts altres passatgers que es

troben a la coberta principal. Si s'estudia aquest fet, es pot veure que això té una relació directa amb la classe dels seients i el preu dels seus bitllets, és a dir, un passatger pagarà més diners per viatjar en una classe "Business" que un altre que viatgi en classe "Economy" i s'ubiqui a la coberta principal. D'aquesta manera, això certifica que un passatger que pagui més per un bitllet ubicat a la coberta superior o en primera classe, evacuarà l'aeronau molt abans que un passatger que pagui menys per un bitllet de classe "Economy".

El model creat i desenvolupat al llarg del projecte, és un sistema que no pot tenir en compte alguns factors importants a l'hora de realitzar les simulacions, com ara la por, l'estrès, el descontrol dels passatgers, etc., fet que redueix el grau de validesa dels resultats. D'altra banda, el model ha intentat ser el màxim real possible per aconseguir uns valors que permetin estudiar estratègies més eficaçes i eficients d'evacuació.

Un model de simulació com aquest pot ajudar a millorar els protocols d'evacuació en avions de grans dimensions, estudiar diferents escenaris plantejats, el comportament dels passatgers, la distribució dels seients i la ubicació de passatgers amb mobilitat reduïda, etc.

A nivell conceptual, la memòria del projecte ha complert la majoria del objectius plantejats a l'inici de la seva presentació, alguns exemples són: la divulgació de conceptes teòrics sobre l'evacuació en aeronaus, l'explicació dels protocols utilitzats actualment en emergències, la normativa reguladora de tots aquest processos, etc. D'altra banda, també s'ha pogut crear un model de simulació basat en un Airbus 380, a partir del qual s'han pogut realitzar experiments i treure'n conclusions molt bones. Tot i que s'han aconseguit els objectius marcats, durant el projecte han aparegut alguns problemes, sobretot en el desenvolupament i configuració del model de simulació. Gràcies al suport tècnic del programa *Simio*, s'han pogut solucionar de la millor manera possible i han permès continuar amb la millora del sistema.

A nivell personal, el treball ha servit per adquirir més coneixements en el tema de l'evacuació d'avions i en el desenvolupament de models basats en la simulació orientada a objectes. També per aplicar les competències adquirides durant el projecte, pel que fa en coneixements aeronàutics i la utilització del programa *Simio*.

Des d'un altre punt de vista, els coneixements apresos en aquest treball podrien ser desenvolupats en el cas de trobar-se en una situació d'emergència durant un viatge en avió. La persona implicada podria aplicar-los i fer ús dels protocols mencionats en el cas d'una evacuació real.



## 18. Línies de treball futur

Els processos i protocols d'evacuació requereixen d'una millora continua en el seu estudi i investigació, ja que poden aparèixer nous problemes i noves tècniques que augmentin el coneixement obtingut fins ara.

En aquest projecte s'ha desenvolupat un model de simulació basat en l'evacuació que realitzen els passatgers en cas d'una emergència aèria, per tal d'obtenir estimacions sobre els temps que tarden els passatgers en abandonar l'aeronau i estudiar diferents escenaris d'ocupació i sortides disponibles. Una possible línia de treball futur consistiria en perfeccionar i refinar el model de simulació per tal d'introduir nous elements que permetin representar el comportament estocàstic i imprevisible dels passatgers. Des del punt de vista del projecte, el model podria ser desenvolupat amb uns altres objectius, d'aquesta manera, variant els experiments i la configuració del model es podrien obtenir altres resultats.

Alguns estudis que podrien ser desenvolupats a partir del model A380 serien:

- Analitzar diferents distribucions a l'hora de calcular els temps de cada passatger.
- Diferenciar els tipus de passatgers segons la seva edat, sexe o mobilitat.
- Realitzar un estudi de la distribució dels passatgers dins de l'aeronau.
- Desenvolupar nous dissenys que permetin millorar l'evacuació.
- Estudiar i analitzar els protocols aplicats en cada cas d'emergència.
- Definir nous escenaris de simulació per tal d'estudiar més detalladament el comportament de les persones a l'hora d'evacuar un avió, veure on es formen els colls d'ampolla, com afecta la disponibilitat de les sortides d'emergència, etc.
- Modificar el model perquè pugui sigui replicat en altres tipus d'aeronaus.



## Secció 8: Referències i enllaços



## 19. Referències

### ❖ Articles:

- Liao, M.-Y.(2013). **"Anevaluation of anairline cabin safety education program for Elementary school children"**.*Evaluation and Program Planning* 43 (2014) 27–37
- Chang, Y.-C. (2012). **"Cabin safety behavior alintentions of passenger swith reduced mobility"**. *Journal of Air Transport Management* 25 (2012) 64-66.
- Chang, Y.-H., Yang, H.-H. (2010). **"Cabin safety and emergency evacuation: Passengr experience of flight CI-120 Accident"**. *Accident Analysis and Prevention*43 (2011) 1049–1055.
- Hsu, Y.-L., Liu, T.-C. (2011). **"Structuring risk factors related to airline cabin safety "**. *Journal of Air Transport Management* 20 (2012) 54e56.
- Escalona, V. (2010). **"La simulación como herramienta de seguridad: la evacuación del Airbus 380"**. Universitat politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Michael P., (2013). **"Occupational Safety and Health Standards for Aircraft Cabin Crew members"**. Federal Aviation Administration, Department of Transportation. Washington, D.C.

### ❖ Documents:

- Hedo, J.M. (2009). **"Modelización computacional del ensayo de evacuación de emergencia de aviones de transporte"**. Universidad politècnica de Madrid, Madrid.
- Amendment 4, (2007). **"Certification Specifications for Large Aeroplanes CS-25"**. European Aviation Safety Agency.
- U.S. Department of Transportation (2004). **" Information for the Air Travaler with a Disability"** Aviation Consumer Protection Division, Washington D.C.
- U.S. Department of Transportation (2003). **" Nondiscrimination on the Basis of Disability in Air Travel"**. 14CFR Part 382, Aviation Consumer Protection Division, Washington D.C.

## 20. Enllaços

- [1] <http://blog.mirayvuela.com/%C2%BFcuales-son-los-asientos-mas-seguros-de-un-avion/>
- [2] <http://greatplaneairbusa380.blogspot.com.es/2007/11/biografa-tipo-vin-comercial-fabricante.html>
- [3] <http://fly-news.es/aviones/pruebas-evacuacion-a380/>
- [4] <http://www.diariodelviajero.com/consejos/como-usar-los-toboganes-inflables-del-avion>
- [5] <http://www.diarioazafata.com/2011/12/27/analizando-procedimientos-evacuacion-de-emergencia-senores-pasajeros-tienen-90-segundos-para-salir-del-avion/>
- [6] <http://www.nts.gov/doclib/safetystudies/SS0001.pdf>
- [7] <http://airchive.com/html/memorabilia/airline-safety-cards/3>
- [8] <http://www.flightglobal.com/news/articles/airbus-a380-evacuation-trial-full-report-everyone-off-in-205793/>

Airbus 380: <http://www.airbus.com/aircraftfamilies/passengeraircraft/a380family/>

Air Accidents Investigation Branch (AAIB): <http://www.aaib.gov.uk/home/index.cfm>

AirbusEvacuation: [http://www.airbus.com/fileadmin/media\\_gallery/files/safety\\_library\\_items/AirbusSafetyLib\\_-FLT\\_OPS-CAB\\_OPS-SEQ12.pdf](http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-CAB_OPS-SEQ12.pdf)







## Secció 9: Annex



## 21. Temps d'evacuació en funció del factor d'ocupació (Random.Triangular)

### ➤ Factor d'ocupació del 100 %

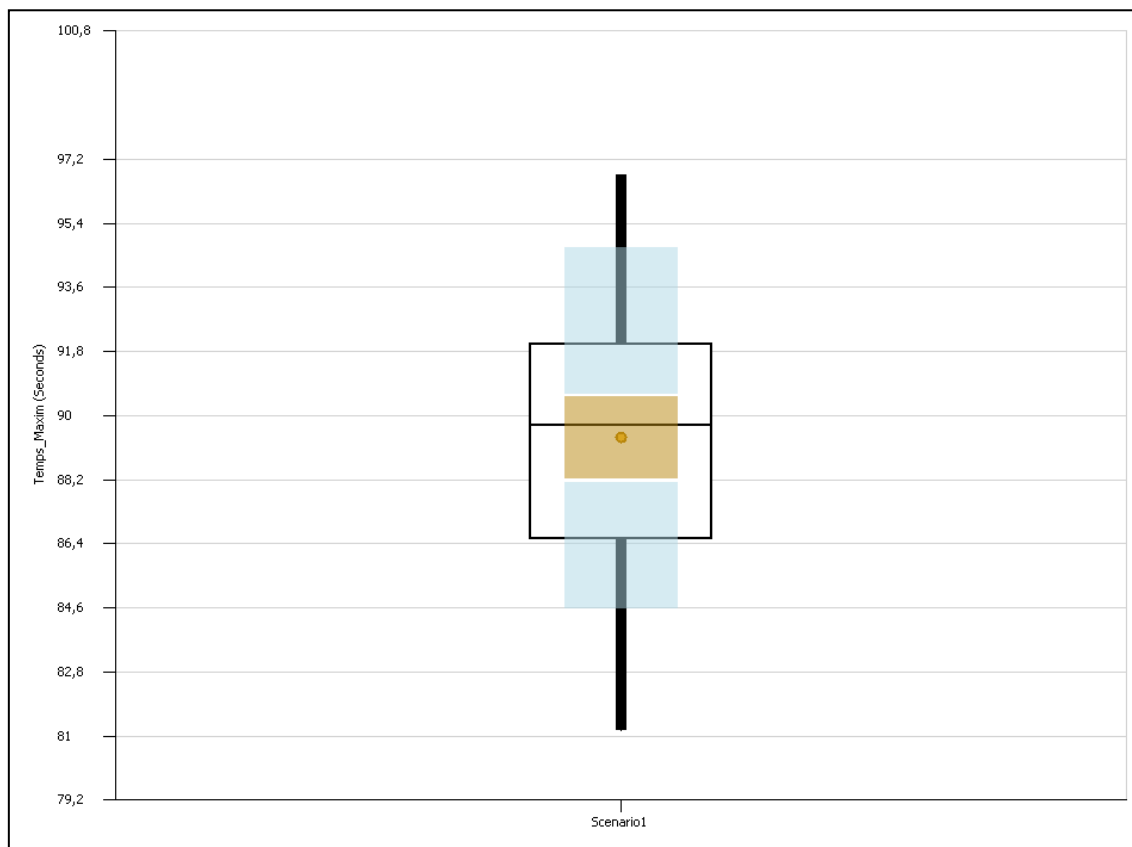


Figura 16.1: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 100% (Random.Triangular)

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Maximum	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
		Average	58,8174	57,0431	60,8124	0,2701
FlowTime	TimeInSystem	Minimum (Seconds)	4,1075	3,4639	4,9124	0,0970
		Maximum (Seconds)	89,3904	81,1481	96,7813	1,1523
		Average (Seconds)	33,8031	32,7834	34,9497	0,1552
Throughput	NumberCreated	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000

Taula 16.4: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 100% (Random.Triangular)

➤ Factor d'ocupació del 85 %

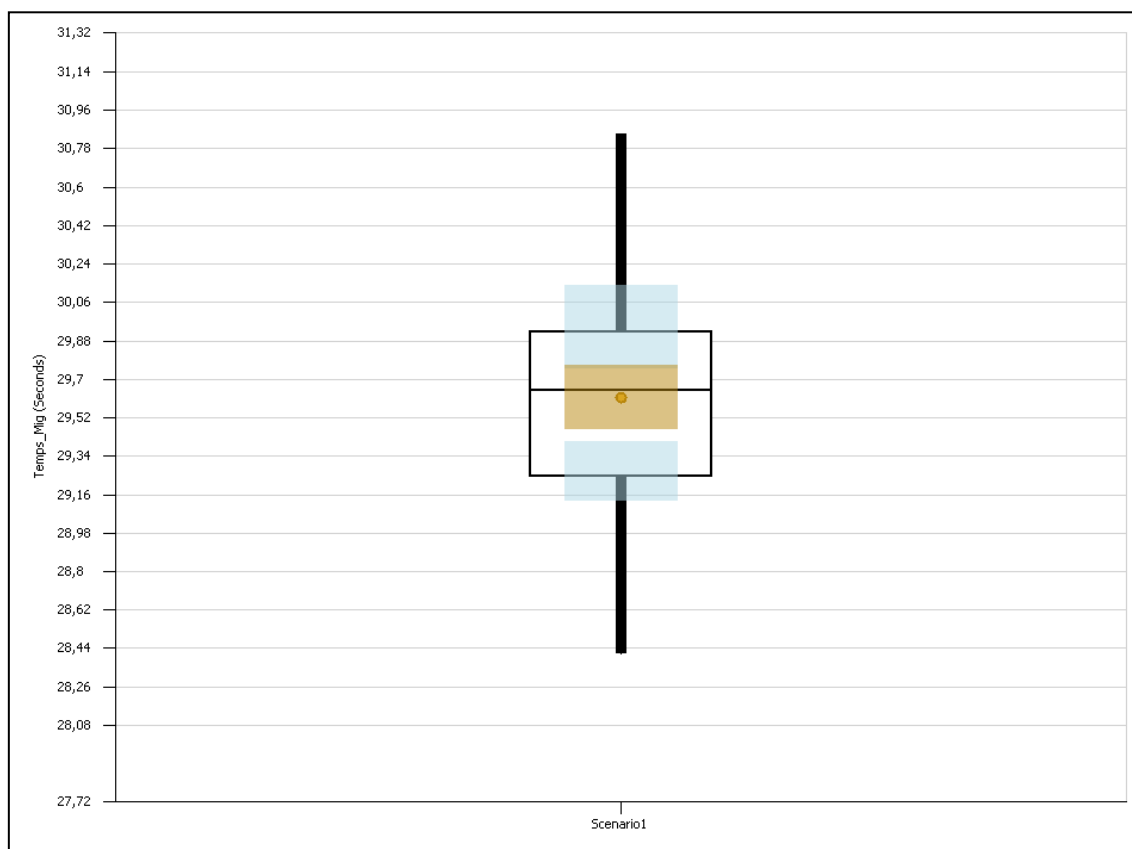


Figura 16.2: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 85% (Random.Triangular)

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Maximum	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
		Average	43,8297	42,0552	45,6532	0,2209
FlowTime	TimeInSystem	Minimum (Seconds)	4,1394	3,5599	5,1242	0,1006
		Maximum (Seconds)	77,7730	69,6997	84,6786	0,9905
		Average (Seconds)	29,6147	28,4157	30,8468	0,1493
Throughput	NumberCreated	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000

Taula 16.5: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 85%

## Factor d'ocupació del 70 %

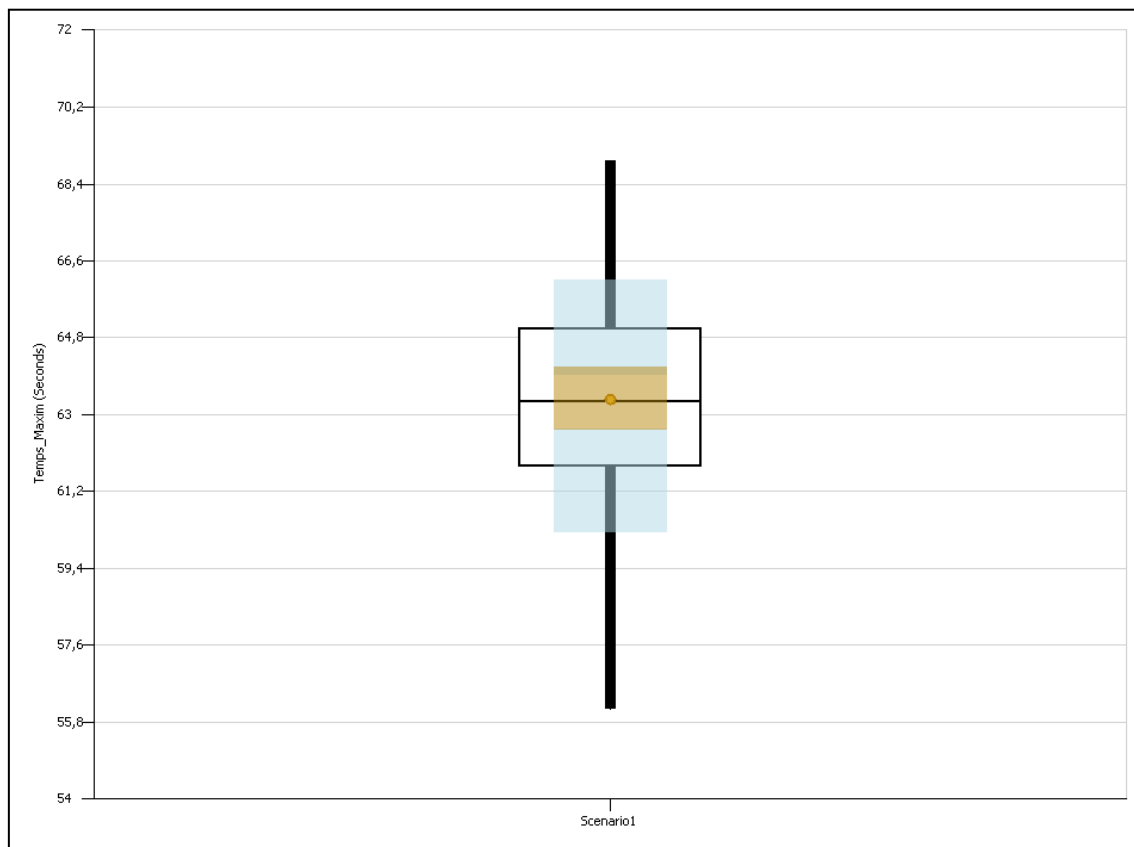


Figura 16.3: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 70% (Random.Triangular)

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Maximum	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
		Average	30,7451	29,4082	32,1670	0,1701
FlowTime	TimeInSystem	Minimum (Seconds)	4,0242	3,5732	4,7876	0,0810
		Maximum (Seconds)	63,3713	56,1187	68,9358	0,7478
		Average (Seconds)	25,2009	24,1050	26,3664	0,1394
Throughput	NumberCreated	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000

Taula 16.6: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 70% (Random.Triangular)

## 22. Temps d'evacuació amb la meitat de sortides disponible (Random.Triangular)

➤ Factor d'ocupació del 100 % amb el 50 % de les portes disponibles:

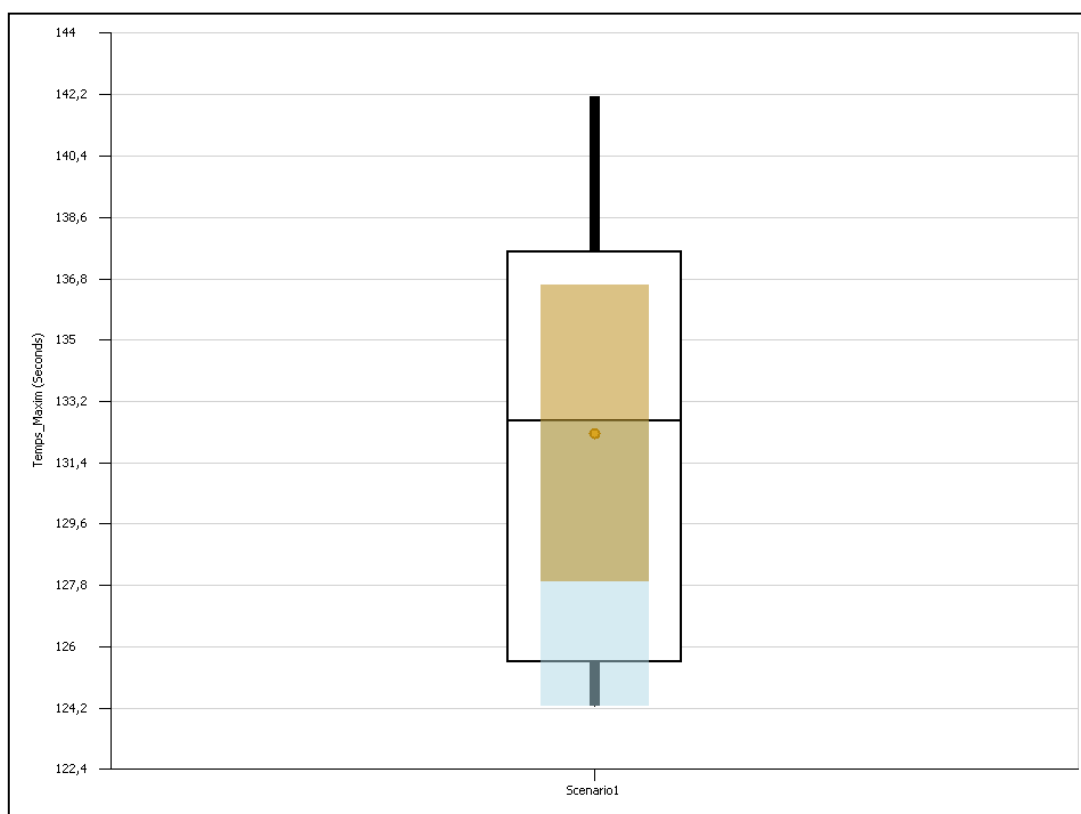


Figura 16.4: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 100% i 50% de sortides disponibles (Random.Triangular)

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Average	89,5318	87,1473	92,2443	1,2799
		Maximum	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
FlowTime	TimeInSystem	Average (Se...	51,4551	50,0846	53,0140	0,7356
		Maximum (Se...	132,2626	124,2746	142,1348	4,3664
		Minimum (Sec...	4,2714	3,5988	5,0094	0,3097
Throughput	NumberCreated	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	522,0000	522,0000	522,0000	0,0000

Taula 16.7: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 100% i 50% de sortides disponibles (Random.Triangular)

➤ Factor d'ocupació del 85 % amb el 50 % de les portes disponibles:

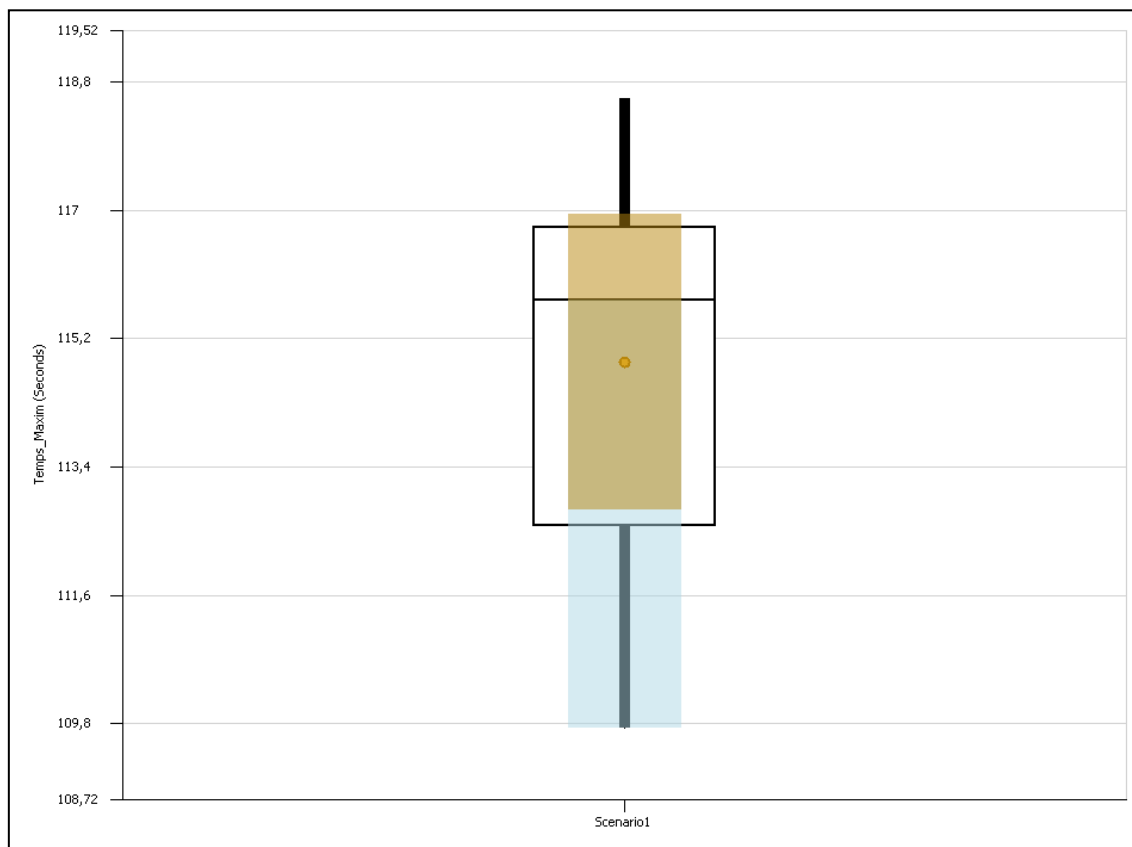


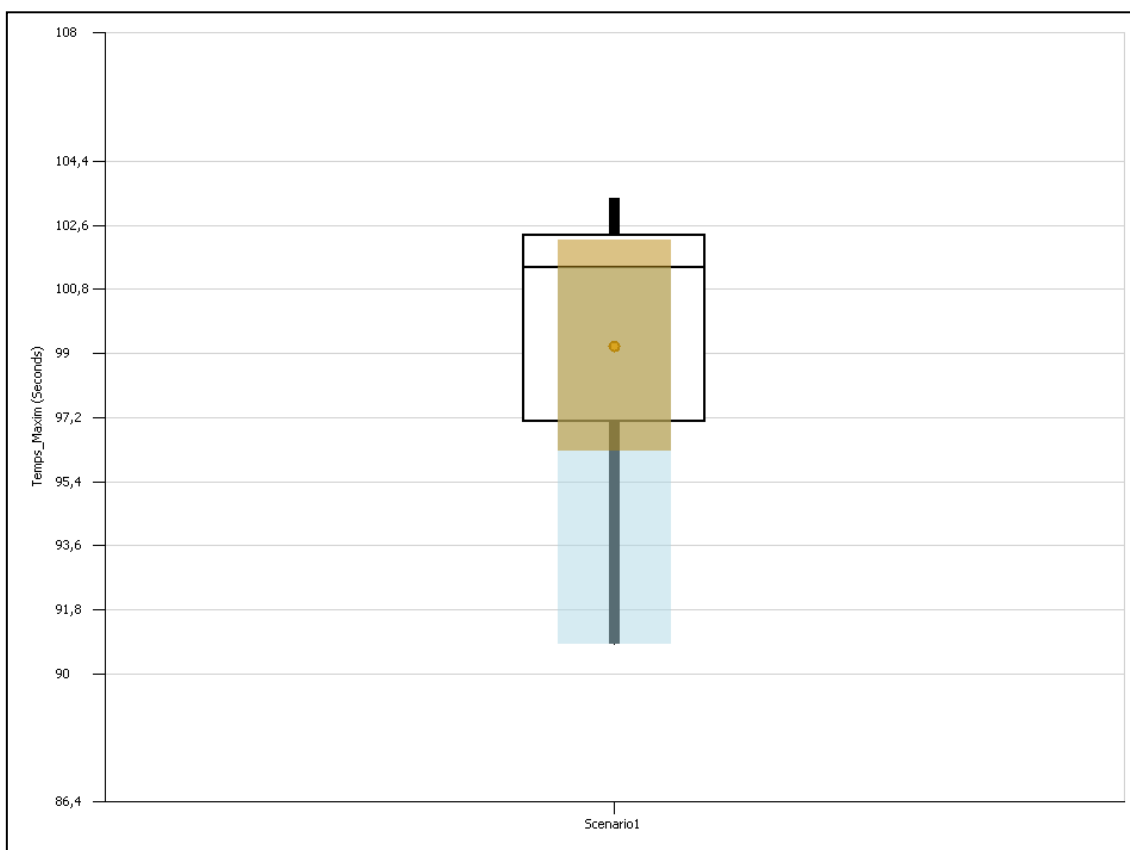
Figura 16.5: Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 85% i 50% de sortides disponibles (Random.Triangular)

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Average	67,6340	65,1832	69,1805	1,1144
		Maximum	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
FlowTime	TimeInSystem	Average (Se...	45,6987	44,0427	46,7436	0,7530
		Maximum (Se...	114,8749	109,7332	118,5739	2,0741
		Minimum (Sec...	4,3069	3,7951	4,7974	0,2014
Throughput	NumberCreated	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	444,0000	444,0000	444,0000	0,0000

Taula 16.8: Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 85% i 50% de sortides disponibles (Random.Triangular)

**Factor d'ocupació del 70 % amb el 50 % de les portes disponibles:**



**Figura 16.6:** Boxplot de simulació amb un factor d'ocupació del 70% i 50% de sortides disponibles (Random.Triangular)

Taula dels temps de simulació:

Category	Data Item	Statistic	Scenario1			
			Average	Minimum	Maximum	Half Width
Content	NumberInSystem	Average	46,3676	45,0772	48,3662	0,6720
		Maximum	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
FlowTime	TimeInSystem	Average (Se...	38,0062	36,9485	39,6444	0,5508
		Maximum (Se...	99,2257	90,8417	103,3556	2,9596
		Minimum (Sec...	4,5161	4,0896	4,8565	0,1878
Throughput	NumberCreated	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000
	NumberDestroyed	Total	366,0000	366,0000	366,0000	0,0000

**Taula 16.9:** Resultats de simulació amb un factor d'ocupació del 70% i 50% de sortides disponibles (Random.Triangular)



**Pau Estany de Millan**



Sabadell, 7 de Juliol de 2014